



Instituto Politécnico Viana do Castelo

Escola Superior Agrária de Ponte de Lima

**Efeito da correcção orgânica e da reacção do solo
numa rotação hortícola no modo de produção
biológico**

Dissertação

Mestrado em Agricultura Biológica

Rui Manuel Machado Pinto

Ponte de Lima, Março 2011



Instituto Politécnico Viana do Castelo

Escola Superior Agrária de Ponte de Lima

**Efeito da correcção orgânica e da reacção do solo
numa rotação hortícola no modo de produção
biológico**

Dissertação

Mestrado em Agricultura Biológica

Rui Manuel Machado Pinto

Orientador: Professor Luís Miguel Cortêz Mesquita de Brito

Co-Orientador: Professora Isabel de Maria Cardoso Gonçalves Mourão

Ponte de Lima, Março 2011

As doutrinas expressas neste
trabalho são da exclusiva
responsabilidade do autor

Para os meus filhos com todo o meu amor

ÍNDICE

Índice	i
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de abreviaturas	vi
Lista de quadros.....	vii
Lista de figuras	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 A agricultura biológica e a fertilidade do solo	1
1.2 Gestão da fertilidade do solo em agricultura biológica	2
1.2.1 A gestão da matéria orgânica e sua influência na qualidade do solo	2
1.2.2 Rotação de culturas	4
1.2.3 Correctivos orgânicos do solo e adubação verde	5
1.2.3.1 Compostos de origem agrícola	5
1.2.3.2 Culturas de cobertura para sideração.....	8
1.2.4 Mineralização da matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes	13
1.2.5 Resposta das culturas à correcção orgânica e à correcção da reacção do solo	18
1.2.6 Fertilização da alface e da acelga.....	20
1.2.6.1 Fertilização da cultura da alface	20
1.2.6.2 Fertilização da cultura da acelga	23
1.3 Objectivos do trabalho.....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Experiências de campo com uma rotação de culturas	25
2.1.1 Alface.....	26
2.1.1.1 Preparação do terreno e fertilização	26
2.1.1.2 Sementeira e plantação	28
2.1.1.3 Controlo de infestantes e rega	29
2.1.2 Adubo verde (centeio e ervilhaca)	29
2.1.2.1 Preparação do terreno e sementeira.....	29
2.1.2.2 Incorporação do adubo verde no solo	30
2.1.3 Acelga	31
2.1.3.1 Preparação do terreno e correcção orgânica do solo	31
2.1.3.2 Sementeira e plantação	31
2.1.3.3 Controlo de infestantes e rega	32
2.2 Colheita de amostras.....	32

2.2.1 Solo e composto	32
2.2.2 Culturas	33
2.3 Análises laboratoriais	34
2.3.1 Métodos laboratoriais para análise das características do solo	34
2.3.2 Métodos laboratoriais para análise das características do composto	36
2.3.3 Métodos laboratoriais para análise das características das plantas	37
2.4 Análise estatística	37
3. RESULTADOS	38
3.1 Cultura da alface	38
3.1.1 Temperatura do ar e características do solo	38
3.1.2 Peso fresco e peso seco	38
3.1.3 Teor e acumulação de nutrientes nas folhas	41
3.1.4 Recuperação de nutrientes do composto	41
3.1.5 Taxa de mineralização da matéria orgânica do composto	43
3.2 Cultura de centeio e ervilhaca para sideração	43
3.2.1 Temperatura do ar e do solo	43
3.2.2 Peso fresco e peso seco	44
3.2.3 Teor e acumulação de nutrientes na biomassa acima da superfície do solo	45
3.3 Acelga	46
3.3.1 Temperatura do ar e do solo	46
3.3.2 Peso fresco e peso seco	47
3.3.3 Teor e acumulação de nutrientes nas folhas	48
3.3.4 Recuperação dos nutrientes dos compostos	50
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	52
4.1 Peso fresco e peso seco das culturas	52
4.2 Acumulação de nutrientes nas culturas	53
4.3 Recuperação dos nutrientes do composto e taxas de mineralização	55
4.4 Características dos solos no final da rotação	56
5. CONCLUSÕES	57
6. BIBLIOGRAFIA	58

AGRADECIMENTOS

Quero expressar os meus profundos agradecimentos aos professores Miguel Brito e Isabel Mourão pela amizade, exigência e disponibilidade que sempre senti durante a execução desta tese. Não posso também deixar de mencionar os meus companheiros de mestrado e equipa coordenadora do mestrado de agricultura biológica pela amizade e partilha que nos uniu.

Aos meus queridos pais quero agradecer do fundo do meu coração por todo o apoio prestado durante a tese e aos meus queridos filhos por toda a força que me dão.

Obrigado Aureasinha por estas noites todas ao meu lado durante a tese.

RESUMO

Numa experiência de campo, realizada no Marco de Canaveses foi instalada uma rotação de culturas no modo de produção biológico com alface, centeio e ervilhaca como cultura de cobertura, e acelga. Neste estudo avaliou-se a produção das culturas com base num delineamento experimental que incluiu dois factores: composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) aplicado às culturas da alface e da acelga e calcário (0 e 8 t ha⁻¹) aplicado à cultura alface. Foram determinados os nutrientes dos compostos e os nutrientes acumulados nas culturas de modo a determinar a relação entre os nutrientes acumulados nas culturas e a produção e a taxa de mineralização do azoto (N) orgânico do composto.

A produção de alface aumentou significativamente ($p < 0,05$) de 25,6 t ha⁻¹ para 35,8 t ha⁻¹ (40%) com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto e 8 t ha⁻¹ de calcário em relação ao tratamento testemunha sem fertilizantes. A produção da cultura de cobertura utilizada como adubo verde na cultura da acelga também aumentou ($p < 0,05$) de 25,2 t ha⁻¹ para 34,6 t ha⁻¹ (37%) do tratamento sem fertilizantes para o tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e 8 t ha⁻¹ calcário. A produção na acelga foi muito superior entre estes dois tratamentos, de 11,7 t ha⁻¹ para 25,4 t ha⁻¹ (117%), sendo evidente uma relação positiva entre a acumulação de nutrientes e a produção na cultura da acelga devido ao efeito acumulado do composto, à disponibilidade do calcário aplicado 8 meses antes e à maior incorporação de biomassa de adubo verde no tratamento fertilizado, 16 dias antes da plantação da acelga. Ao contrário do sucedido para a acelga, na cultura da alface o efeito do calcário não foi tão evidente na produção e na acumulação de nutrientes nas folhas. A taxa de mineralização mais elevada do N orgânico do composto (20,5%) verificou-se na cultura da alface com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto e 8 t ha⁻¹ de calcário.

Palavras chave: adubo verde, azoto, nutrientes, matéria orgânica, pH

ABSTRACT

A field experience was carried out in Marco de Canaveses with an organic rotation with lettuce, rye and vetch cover crop and Swiss chard. The crop production was evaluated based on an experimental design that included a combination of two factors: compost (0, 20 and 40 t ha⁻¹) applied before lettuce and before Swiss chard, and lime (0 and 8 t ha⁻¹) applied only before lettuce. Compost nutrient contents and crop nutrient uptake were determined in order to evaluate the relationship between compost mineralization rate, nutrient uptake, crop growth and final commercial yield.

Lettuce yield increased ($p < 0.05$) from 25.6 t ha⁻¹ to 35.8 t ha⁻¹ (40%) with the incorporation of 40 t ha⁻¹ compost and 8 t ha⁻¹ of lime compared to the treatment without any fertilizer. The production of rye and vetch also increased ($p < 0.05$) from 25.2 t ha⁻¹ to 34.6 t ha⁻¹ (37%) between these two last treatments. This increase was much stronger for Swiss chard, from 11.7 t ha⁻¹ to 25.4 t ha⁻¹ (117%), due to the cumulative effect of the compost, the availability of the lime 8 months after being incorporated into the soil and the incorporation of more biomass from the green manure in the fertilized treatment, 16 days before planting the Swiss chard. In contrast to Swiss chard, the effect of lime to increase lettuce yield and nutrient uptake was not clear. The highest compost N mineralization rate (20,5%) was found after planting lettuce with the incorporation of 20 t ha⁻¹ of compost and 8 t ha⁻¹ of lime.

Key-words: green manure, nitrogen, nutrients, organic matter, pH.

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Agricultura biológica
AC	Agricultura convencional
Al_3^+	Ião alumínio
C	Carbono
C/N	Relação carbono / azoto
Ca	Cálcio
Ca^{2+}	Ião cálcio
CE	Condutividade eléctrica
Fe	Ferro
K	Potássio
K^+	Ião potássio
Mg	Magnésio
Mg^+	Ião magnésio
MO	Matéria orgânica
Mn	Manganês
MPB	Modo de produção biológico
MPC	Modo de produção convencional
MS	Matéria seca
N	Azoto
NO_3^-	Ião nitrato
NH_4^+	Ião amónio
P	Fósforo
Zn	Zinco

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Calendário de execução das operações culturais	25
Quadro 2. Características do solo	38
Quadro 3. Características do composto incorporado antes da plantação da alface	39
Quadro 4. Teor de nutrientes nas folhas da alface	41
Quadro 5. Recuperação de nutrientes do composto aplicado em doses crescentes, para a mesma dose de calcário	42
Quadro 6. Taxas de mineralização de N com a aplicação de 20 e 40 t ha ⁻¹ de composto com e sem aplicação de calcário	43
Quadro 7. Teor de nutrientes nas folhas do adubo verde	45
Quadro 8. Características do composto incorporado antes da plantação da acelga	47
Quadro 9. Teor de nutrientes nas folhas da acelga	50
Quadro 10. Recuperação de nutrientes dos compostos incorporados no início da rotação e antes da cultura da acelga, para a mesma dose de calcário, pela cultura da acelga	51
Quadro 11. Recuperação de nutrientes dos compostos incorporados no início da rotação e antes da cultura da acelga, para a mesma dose de calcário pelas culturas da alface e da acelga	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Talhões para plantação da alface antes de espalhar uniformemente o composto nos respectivos talhões.....	26
Figura 2.	Esquema dos talhões experimentais com calcário e composto	27
Figura 3.	Pilha de compostagem durante o revolvimento e coberta com rede de ensombreamento	28
Figura 4.	Camalhões de alface constituídos por quatro linhas.....	29
Figura 5.	Limpeza de infestantes	30
Figura 6.	Destroçamento do adubo verde com um destroçador a martelos	31
Figura 7.	Plantação das acelgas.....	32
Figura 8.	Localização das amostras da alface num talhão de 10 m ² e talhões da alface antes da última colheita	33
Figura 9.	Localização das amostras da acelga num talhão de 10 m ² e talhões da acelga antes da última colheita	34
Figura 10.	Temperatura do ar e do solo durante o ciclo de vida da alface.....	38
Figura 11.	Peso fresco da alface 21, 35 e 49 dias após a plantação	39
Figura 12.	Peso fresco da alface na 3ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário e com aplicação de calcário para a média das doses de composto.....	40
Figura 13.	Peso fresco da alface na 2ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário e com aplicação de calcário para a média das doses de composto.....	40
Figura 14.	Peso seco da alface na 3ª colheita em resposta ao composto e ao calcário ..	40
Figura 15.	Acumulação de nutrientes na alface em resposta à incorporação de composto e calcário no solo.....	42
Figura 16.	Temperatura do ar e do solo durante o ciclo cultural da cultura de cobertura (aveia e ervilhaca).....	43
Figura 17.	Peso fresco da cultura de cobertura na colheita.....	44
Figura 18.	Peso fresco da cultura de cobertura na colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário e com aplicação de calcário para a média das doses de composto	44
Figura 19.	Peso seco da cultura de cobertura em resposta ao composto e ao calcário ..	45
Figura 20.	Acumulação de nutrientes na cultura de cobertura em resposta à incorporação de composto e calcário no solo	46
Figura 21.	Temperatura do ar e do solo durante o ciclo de vida da acelga.....	46
Figura 22.	Peso fresco da acelga 21, 35 e 49 dias após a plantação	47
Figura 23.	Peso fresco da acelga na 3ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário e com aplicação de calcário para a média das doses de composto.....	48

Figura 24. Peso fresco da acelga na 2ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário e com aplicação de calcário para a média das doses de composto.....	48
Figura 25. Peso seco da acelga na 3ª colheita em resposta ao composto e ao calcário..	49
Figura 26. Acumulação de nutrientes na acelga em resposta à incorporação de composto e calcário no solo	50
Figura 27. Variação da acumulação de N nas folhas e sua relação com a produção na alface e na acelga	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 A agricultura biológica e a fertilidade do solo

Existe uma preocupação crescente para aumentar a produtividade agrícola tendo em consideração a qualidade do solo e da água. Dentro deste contexto a fertilidade do solo é um aspecto fundamental a ter em consideração, sendo a agricultura biológica (AB), através de práticas agrícolas que aumentam o teor de matéria orgânica (MO) e a actividade biológica do solo, considerada uma alternativa à agricultura convencional (AC) (Conacher et al., 1998; Sandhu et al., 2010).

A AB está em crescimento no Mundo. Os dados estatísticos apresentados em 2007 pela Federação Mundial de Movimentos de Agricultura Biológica (IFOAM) revelam um crescimento significativo no sector, especialmente na Europa, na Austrália, em alguns países da América Latina e nos Estados Unidos da América. Na Europa, os países com maior proporção de solo em agricultura biológica são a Áustria (13 %), a Suíça (11 %), a Itália (7 %), a Finlândia (7 %) e a Suécia (7 %) (Ferreira e al., 2009). Portugal tem cerca de 6 % da Superfície Agrícola Útil em agricultura biológica. Contudo a área destinada às culturas hortícolas é muito reduzida, tornando-se evidente a escassez nacional de produtos hortícolas biológicos, para os quais existe um mercado potencial em crescimento (Mourão, 2007).

A escassez de produtos hortícolas biológicos deve-se em parte à falta de informação técnica e apoio à produção, sendo necessária a execução de experiências práticas no campo de forma a fornecer aconselhamento técnico aos produtores e assim obter rendimentos que permitam aumentar a produção de hortícolas a nível nacional. A fertilização em agricultura biológica é um domínio no qual é necessária a investigação regional porque a produtividade das culturas depende fortemente dos factores edáficos e climáticos que afectam processos como a degradação da MO que é a fonte principal de nutrientes para as plantas no modo de produção biológico (MPB). Por outro lado, sendo o azoto (N) um elemento que, no MPB, depende exclusivamente da mineralização da MO, é crucial para o sucesso da AB o estudo da gestão do N no solo. Considerando que a maior parte dos solos no NW de Portugal são ácidos torna-se necessário analisar, também, o efeito combinado da aplicação de correctivos orgânicos e da calagem na produtividade das culturas no MPB.

1.2 Gestão da fertilidade do solo em agricultura biológica

1.2.1 A gestão da matéria orgânica e sua influência na qualidade do solo

O teor de matéria orgânica é fundamental para avaliar a qualidade do solo (Reeves, 1997). A quantidade de MO do solo depende da incorporação de MO e da taxa de mineralização da mesma, a qual depende das características da MO incorporada no solo e dos factores edafo-climáticos do local. Estes factores, e aquelas características em conjunto com o tipo e a intensidade de mobilização do solo, conduzem a uma alteração mais ou menos lenta da MO no solo. O equilíbrio entre a incorporação de MO e a sua mineralização depende ainda da textura do solo. Havendo tendência para reter mais MO num solo argiloso e com culturas permanentes do que num solo arenoso e com culturas anuais (Johnston et al., 2009). A incorporação sistemática de MO numa quantidade adequada para suprir as necessidades de N das culturas, aumenta os teores de carbono (C) e N do solo (Drinkwater et al., 1998; Evanylo et al., 2008; Nett et al., 2010) contribuindo para a melhoria das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Em relação às características físicas do solo, a adição de MO diminui a densidade aparente do solo permitindo um melhor desenvolvimento radicular das culturas (Mamman et al., 2007), aumenta a capacidade de infiltração de água e a estabilidade dos agregados de partículas (Benbi et al., 1998), que em virtude de reduzirem o contacto directo dos microrganismos com a MO conduzem a uma diminuição da mineralização (Drury et al., 2004). No que respeita às propriedades químicas, a incorporação de MO no solo produz substanciais aumentos de N total, fósforo (P) e potássio (K) disponíveis (Bayu et al., 2006), um aumento do pH e da capacidade de troca cationica (Yilmaz et al., 2010), bem como do efeito tampão do solo (Makind, 2009). Em relação às propriedades biológicas, a adição de MO aumenta a biomassa microbiana, a actividade enzimática do solo (Gaofei et al., 2009) e contribui para o aumento da quantidade e da variedade de minhocas (Zaller et al., 2004).

Apesar de vários autores referirem o aumento de C e N com a incorporação de MO, Reeves (1997) constatou que em vários ensaios realizados em solos cultivados durante mais de 100 anos, a quantidade de C tem tendência para diminuir independentemente da rotação de culturas e da fertilização aplicada. Este efeito é mais pronunciado em países quentes e húmidos onde a mineralização é mais acentuada. Neste caso, as operações culturais para minimizar a perda de MO no solo assumem maior importância. Reeves (1997) mencionou a realização de rotações, a incorporação de estrume e dos resíduos das

colheitas, uma fertilização mineral adequada e a mobilização de conservação como factores fundamentais para aumentar o teor de C e para melhorar a qualidade do solo.

O desenvolvimento tecnológico recente das alfaías agrícolas, designadamente para sementeira directa sem mobilização, permitiu desenvolver os sistemas de conservação do solo que evitam a mineralização que seria provocada pelo arejamento do solo mobilizado. Hungria et al. (2009) referiram que numa rotação de cereais de 14 anos com leguminosas, o C total e a biomassa microbiana aumentaram significativamente no solo não mobilizado em relação ao solo mobilizado, sendo o aumento de C mais pronunciado em solos com maior percentagem de argila (Liang et al. 2004).

Por um lado o C total em solos sujeitos a não mobilização aumenta pois a mobilização aumenta o arejamento do solo, e assim incrementa a actividade microbiana aeróbia que é responsável por taxas mais elevadas de mineralização de C. Por outro lado a diminuição do coeficiente metabólico qCO_2 (respiração microbiana / biomassa C) em sistemas de não mobilização indica um aumento de eficiência na transformação do C do solo em C da biomassa. Este facto deve-se a uma maior actividade enzimática e um maior desenvolvimento dos fungos em relação às bactérias pois aparentemente os fungos requerem menos energia para a assimilação de C (Hungria et al., 2009). A combinação da não mobilização com uma cultura de cobertura promove a estabilização dos agregados do solo (Zotarelli, 2007). Estes factos levam a concluir que a melhor qualidade de um solo de não mobilização está relacionada com a alteração da estrutura microbiana e com as propriedades físicas do solo e que a longo prazo é possível obter maiores produções. Vários autores referiram que a não mobilização é uma das ferramentas mais importantes na conservação do solo no futuro (Reeves, 1997; Hungria et al., 2009).

Numa experiência ao longo de 15 anos de incorporação sucessiva de MO Drinkwater et al. (1998) constataram que não existem diferenças significativas na produção com a aplicação de estrumes ou fertilizantes minerais de síntese se estes forem aplicados na mesma proporção de N (Drinkwater et al., 1998), dependendo os níveis de produção da fertilidade inicial do solo, das condições atmosféricas (temperatura, humidade, pluviosidade), da taxa de mineralização da MO e do tipo de cultura (Edmeadas, 2003).

1.2.2 Rotação de culturas

A rotação de culturas possibilita uma melhor utilização da água e dos nutrientes minerais do solo, um menor risco de incidência de pragas e doenças, um controlo preventivo de infestantes e uma maior diversidade de produtos hortícolas disponíveis (Mourão, 2007). Rotações bem planeadas, com uma mobilização de solo reduzida e com o uso de leguminosas que forneçam N às culturas subsequentes, tem múltiplos benefícios incluindo a disponibilidade de nutrientes no solo no período de maior necessidade das culturas, a melhoria da qualidade do solo a longo prazo (Drinkwater et al., 2000) e um aumento na produção (Bullock, 1992).

O aumento de produção em rotações durante vários anos com pastagens e culturas para a produção de feno poderá estar relacionado com a melhoria das propriedades físicas do solo devido ao aumento da MO (Bullock, 1992), o que está de acordo com Drury et al. (2004) que constataram, numa rotação de milho-aveia-leguminosa durante 47 anos, que a rotação favoreceu a formação dos agregados do solo. Pelo contrário, rotações curtas como por exemplo milho e soja levam a uma degradação lenta das propriedades físicas do solo e à diminuição da MO. O aumento de produção nestas rotações em relação à monocultura pensa-se que está relacionada com um aumento dos organismos patogénicos do solo em monocultura (Bullock, 1992). Sarunaite et al. (2010) também constatou numa rotação durante 3 anos um aumento na produção de trigo (*Triticum aestivum*), ervilha (*Pisum sativum*), fava (*Vicia faba*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) em relação às mesmas culturas em regime de monocultura.

O teor de MO ou de C orgânico é um parâmetro fundamental para definir a qualidade de um solo. O teor de C diminui no decorrer de rotações convencionais e aumenta com a inclusão de pastagens na rotação. Alternando 7 anos de rotações convencionais com períodos de 3 anos de pastagens é possível manter as propriedades do solo de modo a tornar a agricultura uma actividade mais sustentável (Studdert et al., 1997). Grandy et al. (2002) referiram que após 2 anos de uma rotação com uma cultura para sideração (*Avena sativa*, *Pisum sativum* e *Vicia vilosa*) e batata (*Solanum tuberosum*) o teor de C aumentou de 23,9 para 25,9 g kg⁻¹ e Reeves (1997) numa rotação de 85 anos de trigo, pastagem e pousio, constatou que o incremento do tempo de pastagem aumentava os valores de C e N no solo e que os mesmos diminuía durante o pousio. Tonitto et al. (2006) referiram que no sentido de diminuir as perdas de N devido a fenómenos de lixiviação, volatilização e desnitrificação tem-se procurado incrementar a optimização das rotações de culturas, das culturas para utilização como adubos verdes e da fixação biológica do azoto. Yusuf et al.

(2009) por exemplo, comparando uma rotação de 2 anos sucessivos de milho e leguminosas com milho em monocultura, verificaram uma percentagem de N total acumulado nas folhas de 14 % e 34 % superior respectivamente no primeiro e segundo ano, na cultura consociada em relação à monocultura do milho, enquanto Chang e al. (1994) constataram que numa rotação de 4 anos de cevada, fava e ervilha, o N mineral no solo foi em média 32 % superior em relação aos talhões com cevada em monocultura.

As rotações de culturas podem contribuir para a diminuição da densidade de infestantes. Numa rotação de trigo-milho e trigo-beterraba referidas por Kooceki et al. (2009) a densidade de sementes de infestantes foi de 5500 e 4500 sementes m^{-2} respectivamente em relação ao trigo em regime de monocultura cuja densidade de sementes de infestantes foi 6300 sementes m^{-2} . Na cultura do milho em monocultura também se verificou um número superior de plantas infestantes, 38,5 plantas m^{-2} em comparação com 28,6 e 25,8 plantas m^{-2} numa rotação com cevada e trigo respectivamente (Demjanova et al., 2008).

1.2.3 Correctivos orgânicos do solo e adubos verdes

1.2.3.1 Compostos de origem agrícola

1.2.3.1.1 Características dos compostos à base de estrumes de animais

A fertilização em AB depende da mineralização da MO incorporada no solo, sob a forma de resíduos de colheita, adubos verdes e compostos orgânicos. A mineralização da MO após a incorporação de resíduos frescos, a fim de disponibilizar nutrientes para as culturas, é de mais difícil controlo do que a mineralização dos compostos em virtude de estes já se encontrarem parcialmente decompostos. Tradicionalmente, em Portugal os estrumes mais usados são de vaca e cavalo. Os estrumes podem ser uma fonte de sementes de infestantes (Sarapatka et al., 1993), microrganismos patogénicos ou moléculas orgânicas que prejudicam a qualidade do solo, no entanto, através do processo de compostagem os estrumes são transformados numa matéria uniforme, quimicamente estável e mais segura do ponto de vista sanitário (Sikora, 1998). O objectivo da agricultura biológica é a manutenção da fertilidade do solo, designadamente através do aumento dos teores de MO no solo, o que é conseguido, também, com materiais compostados. A MO do composto é mais facilmente sequestrada no solo por se encontrar parcialmente humificada (Drinkwater et al., 1998), o que explica em parte o aumento significativo de MO e N em formas

estáveis no solo com a aplicação de composto em relação a outros sistemas de fertilização tais como adubos verdes ou fertilização com adubos minerais de síntese.

Os compostos maturados, possuem um maior teor de MO estabilizada, por exemplo em moléculas húmicas, por isso, são mais lentamente mineralizados. Assim, é necessário aplicar elevadas quantidades de composto na fertilização das culturas para disponibilizar o N em quantidades apreciáveis que permitam alcançar produtividades competitivas (Sikora, 1998). Em virtude da heterogeneidade dos compostos é difícil prever as taxas de mineralização de modo a sincronizar a libertação de nutrientes com a necessidade das culturas. Hadas & Portnoy (1994) referiram que em 4 compostos de estrume animal o N mineral disponível após 32 semanas de incubação no solo variou entre 11 a 29 % do teor de N total, sendo o N mineral antes da incubação no solo variável entre 2 e 12 % do N total dos compostos. Os compostos são considerados fertilizantes de baixo teor de nutrientes (Sikora et al. 2001). Soumare et al. (2003) referem que após 4 meses de compostagem de um estrume animal de curral, o teor de N, P, K, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) totais foram respectivamente de 11,1; 4,0; 10,6; 90 e 4,6 g kg⁻¹ de MS, sendo os teores de N, P, K, Ca e Mg disponíveis para as culturas respectivamente 12; 23; 49; 7,5 e 73 % dos teores totais.

Os compostos produzidos à base de estrume animal variam muito na sua composição, dependendo muito do tipo de camas utilizadas e do grau de maturação do composto. Moral et al. (2005) caracterizou os compostos de estrume de cavalo, vaca, porco, carneiro, coelho e galinha com diversas proporções de palha e aparas de madeira com 1 mês de compostagem, e concluiu que a MO variou entre 39,6 e 69,7 %, apresentando o composto de equino a maior concentração de MO e o de bovino a menor; o N orgânico variou entre 1,5 e 2,9 %, sendo o composto de galináceos e o de suínos os que apresentavam os valores mais elevados; a relação C/N variou entre 11,1 e 20,8 sendo o valor inferior do composto de galináceos e o mais elevado do composto de equinos.

1.2.3.1.2 Influência do estado de maturação dos compostos e do momento da sua aplicação ao solo na produção vegetal

O estado de maturação do composto influencia a libertação de N. Um composto pouco maturado poderá libertar maior quantidade de N do que um composto em avançado estado de maturação, mas um composto bem estabilizado melhora a qualidade do solo e a capacidade de retenção de água e nutrientes. Os compostos mal maturados podem causar a imobilização do N mineral pelos microrganismos decompositores e efeitos adversos no

crescimento das plantas jovens (Brito, 2001). Normalmente nos compostos à base de estrumes de animais há uma imobilização de N após a incorporação, seguida de uma rápida libertação de nutrientes (Moral et al., 2005). Além da imobilização do N, a incorporação de compostos mal maturados pode privar as plantas de oxigénio e originar problemas de fitotoxicidade devido à emissão de amoníaco e à presença de outras substâncias tóxicas como os compostos fenólicos e etileno (Gomez Brando et al., 2008).

Na compostagem consideram-se 2 partes. A primeira caracteriza-se por uma forte actividade metabólica e pelo aumento de temperatura e inclui uma fase mesófila e uma fase termófila; a segunda parte caracteriza-se por taxas metabólicas reduzidas e consiste nas fases de arrefecimento e maturação (Brito, 2003). O tempo de cada uma destas fases é muito variável e depende dos materiais utilizados, da dimensão das partículas, humidade e do arejamento da pilha de compostagem (Brito, 2003). No fim da fase termófila o material compostado é inadequado para aplicar ao solo em virtude do elevado teor de NH_4^+ , que pode ser fitotóxico e do baixo grau de estabilização da MO (Gomez-Brando et al., 2008). Considerando um período de 80 dias de maturação de um composto de gado bovino em pilhas (50 m de comprimento, 2 de largura e 2 de altura), sujeitas a revolvimento 2 vezes por mês, Gomez-Brando et al., (2008) referiram que a estabilidade do C orgânico aumentou, o que foi verificado com a diminuição de carbono dissolvido, da concentração de N-NH_4^+ e da relação C/N de 17 para 11 e também por uma redução da biomassa e diversidade microbiana. Inbar et al., (1993) referiram que num composto de gado bovino sujeito a um processo de compostagem em caixas perfuradas de 1 m^3 a estabilidade aumentou após apenas 60 dias de compostagem com um aumento acentuado de condutividade eléctrica (CE) de 2,6 para $5,4 \text{ dS m}^{-1}$, tendo a resposta à fertilização por meio de plantas indicadoras sido limitada entre os 40 e 60 dias porque o composto continuava, ainda, num processo de decomposição lenta inibindo o crescimento das plantas. Após 80 a 90 dias cessou a inibição do crescimento, e a resposta à fertilização aumentou. Num composto de estrume de porco com aparas de madeira produzido em pilhas de 8 m^3 , reviradas de 3 em 3 dias, o período de maturação foi menor, verificando-se uma descida acentuada da relação C/N de 28,8 para 20,5 e um aumento de estabilidade da MO ao fim de 35 dias (Huang et al., 2006). Levanon et al. (2002) numa experiência de compostagem realizada com estrume de bovinos e galinha com revolvimento verificaram que quando a temperatura da pilha descia dos $55\text{-}60^\circ\text{C}$, a razão C/N diminuía de valores iniciais de 18 para valores de 12, enquanto a concentração de N-NH_4^+ do composto fresco

diminuiu de 0,38 para 0,12 % e a concentração de N-NO_3^- aumentou de 0,025 para 0,1 %, mantendo-se estes parâmetros relativamente estáveis 115 dias após o início da compostagem. Estes autores encontraram teores mais elevados de N mineral no solo após 2 semanas de incorporação do composto, mas mais baixos após 4 semanas, em amostras mal maturadas recolhidas 68 dias após o início da compostagem; por outro lado, no solo fertilizado com amostras recolhidas num estado de maturação adiantado entre 109 e 199 dias de compostagem verificaram-se concentrações inferiores de N mineral no solo até às 4 semanas de incorporação. As maiores concentrações de N no solo foram encontradas em amostras retiradas após o fim da fase termófila. A libertação de N no solo, segundo estes autores, está relacionada com a actividade das enzimas amilases e um vasto leque de outras enzimas hidrolíticas que varia com o estado de maturação do composto e consoante a temperatura e a disponibilidade de substrato. Ou seja, o conhecimento do tempo de maturação do composto é fundamental de modo a aferir o momento de incorporação do composto para diminuir a competição de N entre as plantas e os microrganismos e disponibilizar a maior quantidade de N mineral no período de maior necessidade das plantas.

1.2.3.2 Culturas de cobertura para sideração

Em agricultura biológica a produção é frequentemente baseada em rotações que incluem uma cultura de cobertura para sideração (para funcionar como um adubo verde para a cultura seguinte), uma forragem para corte ou um período de pastoreio. Os adubos verdes são importantes como alternativa aos adubos convencionais para diminuir as perdas de N no solo devido à lixiviação. As culturas de cobertura aumentam a diversidade de culturas no mesmo terreno, e competem com as infestantes. Após a sideração fornecem nutrientes para a cultura seguinte e, melhoram a estrutura e os teores de MO do solo.

As culturas de cobertura protegem o solo da erosão e retêm os nutrientes que se poderiam lixiviar. O trigo, a aveia, o centeio, a cevada e o nabo são usados actualmente como culturas de cobertura para impedirem as perdas de N por lixiviação, após a remoção da cultura principal (Varennnes, 2003). Lampkin (2001) também menciona as culturas de rápido crescimento, como a mostarda branca (*Brassica foliosa*) ou a facélia (*Phacelia tanacetifolia*), que absorvem mais facilmente o N e acumulam-no rapidamente, impedindo a sua lixiviação. Contudo, decompõem-se rapidamente, por isso, contribuem pouco para o húmus do solo. Nas zonas frias, as melhores culturas retentoras de N, são as que

conseguem absorver NO_3^- a temperaturas baixas, como por exemplo o centeio, pois continua a haver mineralização no solo durante os meses de Inverno (Baggs et al., 2000). Por vezes a vegetação natural pode ser mais efectiva para reter o N do solo que culturas utilizadas para retenção de N. Contudo, apesar de a utilização da vegetação natural ter vantagens económicas apresenta o inconveniente de possuir menor capacidade para competir com as infestantes das culturas (Baggs et al., 2000).

A sideração pouco contribui para o teor de húmus no solo porque as plantas jovens são rapidamente mineralizadas, mas contribui para disponibilizar N e outros nutrientes. No entanto, sobretudo as gramíneas e as leguminosas com raízes profundas, como a luzerna e o tremoceiro (Varenes, 2003) podem, também, contribuir para melhorar a estrutura do solo. A fertilização da cultura seguinte através da incorporação do adubo verde no solo depende do controlo da mineralização e da quantidade de biomassa disponível. Numa análise comparativa considerando as produções de milho, sorgo, bróculo, batata e tomate, Tonitto et al. (2006) referiram que quando a biomassa do adubo verde à base de leguminosas contém mais de 110 kg N ha^{-1} as produções em AB são equiparadas às produções em AC. A mineralização depende da razão C/N, do estado de maturação e modo de incorporação dos adubos verdes, do tipo de solo e das condições climáticas (Baggs et al., 2000).

A razão C/N do composto poderá ser um indicador do balanço entre a mineralização e a imobilização do N após incorporação do composto no solo (Tejada et al., 2008). Material verde e jovem de relação C/N inferior a 20 decompõe-se rapidamente e liberta mais nutrientes para a cultura seguinte, pelo contrário quanto maior a relação C/N mais N é retido pelos microrganismos e menos fica disponível para a próxima cultura. As plantas leguminosas têm uma razão C/N mais baixa que as gramíneas porque fixam o azoto atmosférico através do rizóbio, resultando uma maior quantidade de N incorporado no solo (Baggs et al., 2000).

A capacidade de fixação de N pelo rizóbio é muito variável quer com a cultura quer com as condições ambientais, encontrando-se grandes variações para a mesma cultura, e entre culturas na literatura. A fava (*Vicia faba*) fixou mais N atmosférico (413 kg N ha^{-1}) sem fertilização com N mineral, numa rotação milho/fava do que em monocultura (221 Kg N ha^{-1}) (Fan et al., 2006); a ervilhaca (*Vicia villosa*) fixou 227 kg N ha^{-1} durante 5 meses no período de Inverno e início de Primavera (Rochester et al., 2005); a ervilha (*Pisum sativum*) e o trevo branco (*Trifolium repens*) cultivados para grão fixaram respectivamente

286 kg N ha⁻¹ e 327 kg N ha⁻¹ (Kumar et al., 2000). A sideração com trevo branco (C/N = 9) ou ervilha (C/N = 13) estimulou a mineralização e a nitrificação, enquanto a incorporação de aveia (C/N = 38) provocou uma carência de N, atrasando a absorção desse nutriente pelas culturas, devido à imobilização do N do solo (Baggs et al., 2000). Assim, após a incorporação de um adubo verde de baixa razão C/N, a cultura seguinte deve ser imediatamente instalada, e após a incorporação de um adubo de elevado C/N, a cultura seguinte deve ser instalada 1 mês depois (Baggs et al., 2000). Tejada et al. (2008) analisou o efeito da incorporação de *Trifolium pratensis* (C/N = 9) em comparação com *Brassica napus* (C/N = 48) na produção de milho e verificou que a incorporação de *Trifolium pratensis* de razão C/N inferior provocou um aumento na biomassa microbiana devido à incorporação de materiais facilmente degradáveis, estimulando a actividade enzimática pois os microrganismos degradam a MO produzindo enzimas extracelulares. O aumento da actividade enzimática no solo onde foi incorporado o *Trifolium pratensis* conduziu a um aumento de hidratos de carbono e pigmentos nas folhas possivelmente devido a um aumento na mineralização da MO no solo (Tejada et al., 2008).

A sincronização da mineralização dos adubos verdes com o período de maior necessidade das culturas é um factor decisivo para o desenvolvimento da cultura a fertilizar, sendo necessário conhecer a taxa de mineralização dos vários adubos verdes para os adaptar às necessidades da cultura seguinte. Durante 2 anos numa experiência de campo realizada por Rannels et al. (1996) foram semeadas várias gramíneas e leguminosas, em monocultura e associadas, para avaliar o N libertado após a sua incorporação no solo. Por ordem decrescente a libertação de N foi mais rápida na ervilhaca, seguindo-se o trevo vermelho, as misturas centeio e ervilhaca, centeio e trevo vermelho, e centeio; ao fim de 8 semanas de decomposição a libertação de N foi 132 kg ha⁻¹ na ervilhaca, 108 kg ha⁻¹ na mistura centeio-ervilhaca, 60 kg ha⁻¹ no trevo vermelho, 48 kg ha⁻¹ na mistura centeio-trevo vermelho e 24 kg ha⁻¹ no centeio. A sideração tardia, em Maio, da mistura de centeio e ervilhaca para a fertilização da cultura do milho aumentou a quantidade de N acumulado nas folhas do milho pois a lixiviação foi menor e maior a produção de N na massa verde da mistura centeio e ervilhaca (Clark et al., 1997). Por outro lado se o centeio for incorporado tarde na Primavera, aumenta a relação C/N devido à maior percentagem de celulose e lenhina, o que pode contribuir para a imobilização temporária de N, logo a maior disponibilidade de N para a cultura subsequente é após a incorporação do centeio no início

da Primavera; a disponibilidade de N após incorporação no Outono é baixa devido às perdas por lixiviação (Thorup-Kristensen et al., 2010).

O melhoramento genético dos adubos verdes tendo como objectivo sincronizar a libertação de N dos adubos verdes com as necessidades das culturas seguintes pode ser uma necessidade no futuro (Waggoner, 1998); na Eslováquia e na Sérvia foi implementado um projecto bilateral para a recolha e aproveitamento de ervilhacas (*Vicia*) autóctones para serem utilizadas no melhoramento genético de variedades mais adaptadas à utilização como adubos verdes nas condições edafo-climáticas destes países; estas espécies têm algumas características que podem ser aproveitadas para melhorar o desempenho dos adubos verdes, por exemplo, todas as ervilhacas autóctones têm uma excelente tolerância a baixas temperaturas (-20 °C) e quando semeadas em Setembro atingem as características óptimas para serem incorporadas no solo a tempo da sementeira da próxima cultura do milho ou sorgo (Mikic et al., 2009). No Instituto de Agricultura da Lituânia foram criadas através do cruzamento entre variedades diferentes de tremço várias linhas de variedades de tremço (*Lupinus angustifolius* L.) para serem cultivadas como adubos verdes; neste melhoramento tomou-se em consideração a incorporação do tremço entre 20 de Julho e 10 de Agosto de modo a fertilizar os cereais de Inverno, assim como a quantidade de N acumulado nas folhas e o peso de matéria verde (Makinickiene, 2008).

A relação entre a profundidade das raízes das culturas e a localização de N no solo é um aspecto importante a ter em consideração na fertilização. Se no ano anterior for deixado muito N no solo, no ano seguinte o N será encontrado nas camadas profundas do solo, logo a cultura seguinte deve ter raízes profundas (Thorup-Kristensen, 2002). Por exemplo a cenoura e a couve podem utilizar N nas camadas profundas do solo ao contrário da alface e da cebola que exploram as camadas superficiais do solo (Thorup-Kristensen, 2001). A estratégia dos adubos verdes deve ter em consideração a lixiviação e o comprimento da raiz da cultura seguinte, se a lixiviação for baixa e a raiz da cultura seguinte profunda a disponibilidade de N será reduzida (Thorup-Kristensen et al., 1998). Além da relação entre a profundidade das raízes e a localização do azoto no solo Thorup-Kristensen (2006) referiu que as culturas hortícolas de raízes profundas exploram mais eficientemente o N de leguminosas e os de raízes superficiais usam o azoto de cereais como o centeio mais eficientemente, talvez devido ao facto de o centeio se mineralizar mais lentamente sendo por isso mais lentamente lixiviado.

A mineralização depende de muitos factores sendo difícil controlar a libertação de nutrientes no tempo e na quantidade necessária para a fertilização das culturas, por exemplo as culturas que necessitam de absorver muito N em pouco tempo não se adaptam bem a ser fertilizadas unicamente com adubos verdes antes da plantação (Holness et al., 2008). Drinkwater et al. (1998) referiram que a incorporação no solo de culturas com diversas razões C/N aumenta a diversidade e pode ajudar a conservar o azoto e aumentar a capacidade do solo de sincronizar a disponibilidade de N com a cultura seguinte.

O controlo de infestantes é um aspecto importante para a AB a ter em consideração na escolha da cultura de cobertura. Além da competição por espaço, água e nutrientes que dificultam o crescimento das infestantes, a alelopatia oferece o potencial de controlar as infestantes através da produção de aleloquímicos libertados para a rizosfera por uma variedade de mecanismos incluindo a decomposição de resíduos vegetais, a volatilização e os exudados pela raiz (Weston, 2005); Weston (1996) referiu que o centeio (*Secale cereale*), o trigo (*Triticum aestivum*) e o sorgo (*Sorghum*) evitam o crescimento das infestantes durante um determinado período de tempo. Os resíduos do centeio e da ervilhaca reduzem e atrasam a emergência de uma grande variedade de infestantes, no entanto, a ervilhaca decompõe-se mais rapidamente e por isso permite a emergência das plantas posteriormente (Moehler et al., 1993), contudo Campiglia et al. (2009) referiram que a colocação em faixas da *Vicia villosa* triturada seria uma boa opção para impedir o crescimento de infestantes na cultura do tomate.

No aspecto sanitário, os cereais de Inverno são favoráveis numa rotação de produtos hortícolas, restringindo a propagação de doenças cujos agentes infecciosos se encontram no solo (Messian, 1991). Schmid & Henggler (1988) referiram uma cultura de ervilhaca (*Vicia sativa*), tremço (*Lupinus luteus*) e centeio (*Secale cereale*) para sideração antes da cultura da batata por aquela consociação de culturas ter uma acção inibidora na sarna da batateira (*Streptomyces scabies*). No entanto a incorporação da ervilhaca antes da cultura do algodão contribuiu para o aumento das populações no solo de *Rhizoctonia solani* e *Pithium spp.* (Rothrock et al., 1995).

A mistura de centeio (*Secale cereale*) e ervilhaca vilosa (*Vicia villosa*) tem demonstrado uma grande capacidade para reter o N mineral do solo (principalmente no centeio) e fornecer N fixado biologicamente (na ervilhaca) à cultura subsequente (Waggoner et al., 1998). A mistura de centeio com ervilhaca apresenta as vantagens do centeio e da ervilhaca pois diminui as perdas por lixiviação e desnitrificação pela presença do centeio e melhora a

sincronia entre a libertação de N e o período de necessidades de nutrientes da cultura seguinte (Rosecrance et al., 2000). Numa experiência realizada em vasos Rosecrance et al. (2000) constataram que as perdas de N por lixiviação na cultura de ervilhaca por vaso ($0,98 \text{ mg N mineral d}^{-1}$) foram grandes em relação ao centeio ($0,34 \text{ mg N mineral d}^{-1}$) e à mistura centeio e ervilhaca ($0,10 \text{ mg N mineral d}^{-1}$) devido à rápida mineralização da ervilhaca e à nitrificação e desnitrificação do N mineral proveniente da mineralização da ervilhaca. As perdas de N durante a degradação da ervilhaca no solo atingiram valores superiores a 98 mg N mineral nos primeiros 30 dias, o centeio, por sua vez, reduziu a lixiviação de N mas forneceu menos N à cultura seguinte. Contudo Clark (1994) constatou que a produção de milho foi superior após incorporação da ervilhaca em comparação com o centeio e com a mistura centeio e ervilhaca, sendo a mistura de 21 kg ha^{-1} de ervilhaca e 47 kg ha^{-1} de centeio aquela com que se obteve melhores resultados na cultura do milho. Numa experiência realizada durante 2 anos em 2 locais diferentes Clark et al. (1997) referiram que a quantidade de N acumulado na mistura centeio e ervilhaca (144 a 203 kg ha^{-1}) foi superior ao centeio (51 kg ha^{-1}) e superior ou igual à ervilhaca.

1.2.4 Mineralização da MO e disponibilidade de nutrientes

O N é o elemento que mais frequentemente limita o crescimento vegetal. No solo a maior parte do N encontra-se na forma orgânica só estando disponível para as plantas após mineralização (Varennnes, 2003). A mineralização do N no solo é um processo complexo relacionado directamente com a vida dos microrganismos no solo. Em termos gerais a mineralização consiste na oxidação da MO do solo com libertação de energia que vai ser utilizada pelos microrganismos, mas paralelamente a esta reacção global ocorre uma sequência de reacções enzimáticas, cujas enzimas têm origem nos microrganismos vivos e são usadas como catalisadores de reacções que levam à mineralização da MO. Os elementos presentes nos resíduos orgânicos normalmente são suficientes para as necessidades nutricionais dos microrganismos, à excepção do N e ocasionalmente do fósforo (Varennnes, 2003). No caso de o N ser o elemento limitante, a competição entre as plantas e os microrganismos, conduz à imobilização do N mineral do solo pelos microrganismos convertendo-o em formas orgânicas e incorporando-as no seu organismo. A assimilação de N do solo pelas plantas depende da qualidade e quantidade dos resíduos orgânicos que são incorporados no solo, de modo a gerir de um modo eficiente a mineralização e a imobilização de N (Mengel, 1996); a incorporação ao solo de adubos verdes facilmente mineralizáveis favorece a mineralização, enquanto a entrada de materiais

lenhosos induzem a imobilização. As próprias raízes das plantas são constituídas por carbono orgânico e contribuem para aumentar o teor de MO no solo e a actividade dos microrganismos do solo. A eliminação das culturas que são uma fonte de MO para os microrganismos e as condições do solo e do clima, tais como seca ou a falta de oxigénio, induzem a morte dos mesmos, seguindo-se a libertação de N como consequência da mineralização que ocorre predominantemente sobre os microrganismos mortos (Mengel, 1996).

Normalmente o N disponível para as culturas oscila entre 15 a 20 % do N total no primeiro ano de aplicação de composto e nos anos seguintes o N orgânico residual é mineralizado a uma taxa 3 a 8 % em cada ano (Amlinger et al., 2003). Podendo estes valores ser superiores em climas mais quentes. A disponibilidade de N também depende da cultura instalada. Nas culturas muito exigentes em termos de nutrientes a percentagem de mineralização de N total poderá aumentar. Amlinger et al. (2003) referiram que a disponibilidade de N para o milho durante uma rotação de 5 anos foi cerca de 32 % do N total existente no composto enquanto nas pastagens oscilou entre 9 a 14 %. Apesar de a eficiência do N aumentar nas culturas mais exigentes, Pang et al. (2000) referiram que nas culturas em que o pico de exigência de N é muito elevado, como acontece com o milho, seria necessária uma grande quantidade de estrume para satisfazer as necessidades da cultura em N que ficaria igualmente sujeito à lixiviação. Os factores que influenciam a disponibilidade do N são numerosos, portanto, é essencial o conhecimento da dinâmica do N no solo e saber quais os meios disponíveis para fazer coincidir a libertação de N com as necessidades das culturas.

As técnicas existentes para influenciar a mineralização da MO e disponibilizar os nutrientes quando as culturas deles necessitam baseiam-se no tipo de MO (adubo verde, composto), no estado de maturação do composto, no momento de incorporação da MO no solo, na razão C/N e nas práticas culturais (rotação de culturas, mobilização do solo etc).

A MO estável pode demorar meses ou anos a ser mineralizada e contribui para a fertilização das culturas a longo prazo e a matéria orgânica facilmente mineralizável é responsável pela nutrição das culturas a curto prazo pois a menor percentagem de materiais lenhosos permite fornecer mais facilmente nutrientes às plantas (Montemurro, 2010). Um composto pouco maturado disponibiliza maior quantidade de N para as culturas, contudo à medida que o tempo de compostagem aumenta diminui a mineralização de N e C do composto. Griffin et al. (2007) referiram que nos primeiros 50 dias após incorporação no

solo de um composto com 38 e 95 dias de tempo de compostagem, o N mineralizado no solo foi respectivamente 0,92 e 0,46 mg kg⁻¹ solo dia⁻¹. Entre 50 a 130 dias após incorporação no solo o N mineralizado não dependeu do tempo de compostagem e variou entre 0,2 e 0,4 mg kg⁻¹ solo dia⁻¹. O decréscimo de mineralização com o aumento do tempo de compostagem deve-se ao aumento da percentagem de lenhina, celulose e hemicelulose que se decompõem mais lentamente. O composto maturado possui uma relação NH₄⁺ / NO₃⁻ baixa e tem a vantagem de poder ser incorporado no solo com a cultura instalada (Bernal et al., 2009).

A razão C/N da MO do solo pode ser alterada de modo a disponibilizar o N no período de maior necessidade das plantas através da incorporação no solo de adubos verdes ou compostos mais ou menos maturados; os adubos verdes e o estrume de galinha com razão C/N entre 12 e 14 libertam o N rapidamente, enquanto no estrume de curral de razão C/N entre 29 e 33 o N fica imobilizado durante as primeiras 6 semanas, sendo libertado lentamente nas 8 a 16 semanas seguintes (Reddy et al., 2008). Berry e al. (2002) referiram que a disponibilidade de N para as culturas pode ser melhorada incorporando os adubos verdes na Primavera com um baixo valor C/N e aplicando fertilizantes orgânicos mal decompostos. Apesar da mineralização do N no solo ser um assunto muito estudado, pouco se sabe sobre a contribuição do sistema solo / planta na relação entre a assimilação de N pelos microrganismos e a libertação de NH₄⁺ na rizosfera. Por exemplo as leguminosas contribuem para a redução da razão C/N contribuindo para o aumento do teor de N facilmente disponível para as plantas, por outro lado o cultivo de uma mistura de gramíneas e leguminosas aumenta a massa das raízes e contribui para o aumento de N total (N disponível + N imobilizado) (Fornara et al., 2011).

O tipo de mobilização pode alterar significativamente a taxa de mineralização da MO, a mobilização com charrua ou grade de discos areja muito o solo e contribui para o aumento da mineralização da MO durante os primeiros tempos da cultura do milho (Drinkwater et al., 2000). A sacha mecânica do milho, ao mobilizar o solo superficialmente, aumenta a mineralização dos resíduos da ervilhaca durante a cultura do milho, contribuindo para o fornecimento de N durante o período de maior necessidade do milho (Drinkwater et al., 2000).

A mineralização da MO depende da actividade dos microrganismos no solo que está intimamente relacionada com a temperatura, humidade e pH. A mineralização processa-se num leque abrangente de valores de pH (entre 5 e 8) humidade e temperatura (Amlinger et

al., 2003), no entanto os valores de temperatura e humidade influenciam substancialmente a quantidade de N mineralizado. Para temperaturas entre 5 e 35 °C, se a temperatura aumenta 10 °C, a mineralização pode duplicar em 35 dias (Sierra, 1997). Agehara et al. (2005) constatarem após incorporação ao solo de composto de galinha um aumento de 13 % na mineralização de N após 12 semanas ao variar a temperatura de 15 para 25 °C e um aumento de 21 % com a variação de 50 para 90 % no teor de humidade do solo. O clima tem uma importância primordial na mineralização e libertação de nutrientes. Kayser et al. (2009) referiram que em várias rotações trianuais de pastagens, cevada, milho e triticales, durante o período seco de Junho-Julho a mineralização e absorção de nutrientes foi reduzida, ao mobilizar o solo em Agosto a disponibilidade de N no solo aumentou e no Inverno seguinte as perdas de N por lixiviação foram acentuadas devido à pluviosidade relativamente elevada. Sierra (1997) referiu que em temperaturas baixas os microrganismos estão menos activos e os nutrientes libertam-se lentamente sendo difícil conciliar a disponibilidade de nutrientes com as necessidades das culturas.

O tipo de solo condiciona a mineralização da MO, na medida em que esta depende da natureza e qualidade dos minerais de argila (Liang et al., 2004). Num solo com maior percentagem de argila a mineralização de N do solo e da MO incorporada é menor e a quantidade de N imobilizado pelos microrganismos aumenta (Thomsen et al., 2003). Os solos com maior percentagem de argila armazenam a MO através da adsorção dos polipeptídeos aos minerais de argila, diminuindo a mineralização e a lixiviação. Pelo contrário nos solos arenosos em que as proteínas não são adsorvidas, o N mineral está sujeito à lixiviação após a mineralização que ocorre predominantemente durante o Verão (Mengel, 1996). Por outro lado, os solos arenosos, sendo mais arejados que os argilosos, permitem taxas de mineralização da MO superiores.

Os teores de macronutrientes e micronutrientes aumentam de acordo com a taxa de incorporação de composto no solo (Wong et al., 1999). Várias experiências demonstraram que a quantidade de N total no solo e a quantidade de nutrientes disponíveis aumenta com a aplicação de MO em anos sucessivos (Montemurro, 2010). Manojlovic et al. (2009) referiram que a quantidade de N total no solo e o N acumulado nas folhas da alface aumentaram significativamente com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto num solo com C/N = 11 e pH = 7,5. No entanto, a incorporação de composto no solo para suprir as necessidades da cultura em N, pode originar solos excessivamente ricos em P, K, Ca e Mg

nas camadas superficiais e teores elevados de NO_3^- , Ca e Mg no subsolo (Edmeadas, 2002), assim como excesso de salinidade e teores elevados do ião NH_4^+ (Wong et al., 1998).

A seguir ao N, o P é o elemento que mais frequentemente se encontra em deficiência nos solos; ao contrário do N, predominam muitas vezes as formas minerais de P, no entanto o P orgânico total pode representar 50 % do P total se o solo for muito rico em MO (Varennnes, 2003). Nos solos muito ricos em MO cerca de metade de P absorvido pelas plantas provém da mineralização da MO (Varennnes, 2003). Matos et al. (2006) referiram que a fertilização orgânica provocou um aumento do teor de P mais facilmente disponível e do P da biomassa microbiana. A proporção de P em solução no solo é baixa, no entanto os solos minerais ricos em MO apresentam baixa capacidade para reter este nutriente, sendo a retenção de P mínima para valores de pH entre 6 e 7 (Varennnes, 2003). A disponibilidade de P no estrume de vaca e de porco é elevada (Eghball et al., 1998) e a incorporação de composto de galinha mal maturado aumenta a extracção de P do solo (Adler et al, 2003). Sikora et al. (2004) refere que o P do composto de estrume de galinha torna-se mais disponível para a cultura quando o N é limitante. A compostagem não altera o valor de P disponível (Adler et al., 2003).

O K é normalmente o nutriente mais abundante de todos os nutrientes do solo. O K é um elemento muito dinâmico e não depende da mineralização da MO, pois não faz parte da estrutura das moléculas orgânicas, ficando disponível quando os organismos morrem e há rotura das células (Varennnes, 2003), a disponibilidade de K é cerca de 90 % no primeiro ano de aplicação de composto de estrume animal em relação ao fertilizante químico de síntese (Guang et al., 1997). A disponibilidade de K aumenta com pH neutro em relação a solos ácidos em virtude da competição entre os iões hidrogénio e iões alumínio e potássio nos locais de absorção ao nível das raízes (Varennnes, 2003). Kayser et al. (2009) referiram que durante uma rotação de trevo vermelho, tritcale e centeio, apenas com a aplicação de composto foi possível manter os níveis de K, enquanto os níveis de P e Mg foram afectados pelas diferentes operações culturais.

O Ca e o Mg são dois nutrientes normalmente abundantes nos solos e são libertados através da mineralização ou da rotura das células, mas ao contrário do que acontece com o N e o P, são as formas minerais existentes no solo que contribuem principalmente para o fornecimento de Ca e Mg às plantas (Varennnes, 2003). O Ca é normalmente o catião mais abundante do complexo de troca, seguindo-se o Mg e o K; em solos ácidos a presença de iões de alumínio, hidrogénio e manganês inibe a adsorção de Ca e Mg, pois os nutrientes

catiões adsorvidos no complexo de troca permutam facilmente com iões alumínio em solução. A calagem elevando o pH precipita o manganês e o alumínio e fornece grandes quantidades de Ca e por vezes Mg (Varennnes, 2003). Numa experiência de campo realizada durante 2 anos num solo franco-arenoso com um pH (H₂O) de 6,6 e um teor de C de 9 g kg⁻¹ de solo, Guang et al. (1999) verificaram que a incorporação de composto de estrume animal aumentou a concentração de Ca e Mg disponível no solo, contudo a aplicação de doses crescentes de composto diminuiu o Ca disponível, provavelmente devido ao aumento de K⁺ que substitui o Ca²⁺ no complexo de troca. Na mesma experiência também se concluiu que a acumulação de Ca e Mg na alface diminuiu com a aplicação de composto, talvez devido ao efeito antagónico do ião K⁺.

Os micronutrientes são elementos essenciais às plantas em quantidades relativamente baixas. A MO funciona como uma reserva de micronutrientes libertando-os à medida que se mineraliza. Por outro lado, a adição de MO pobre em micronutrientes pode baixar temporariamente o seu nível em solução por serem imobilizados pelos microrganismos do solo que vão decompor os resíduos introduzidos (Varennnes, 2003). Numa rotação de milho e trigo durante 16 anos Li et al. (2007) referiram que a aplicação de composto aumentou as concentrações de Zn, Fe e Mn de 0,41 para 1,08 mg kg⁻¹, de 10,3 para 17,7 mg kg⁻¹ e de 9,7 para 11,8 mg kg⁻¹ respectivamente. Uma maior quantidade de fósforo disponível diminui a concentração de micronutrientes nas plantas (Li et al., 2007). Em solos muito ácidos o molibdénio está pouco disponível para as plantas, enquanto os micronutrientes catiões (ferro, manganês, cobre, zinco e níquel) e o boro estão fortemente adsorvidos ou formam compostos insolúveis a pH alcalino (Varennnes, 2003).

1.2.5 Resposta das culturas à correcção orgânica e à correcção da reacção do solo

A reacção do solo influencia as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, determinando o tipo de vegetação existente, a actividade dos microrganismos, a estabilidade dos agregados e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A matéria orgânica pouco decomposta influencia as propriedades físicas do solo como a densidade aparente, contudo tem uma superfície específica baixa, não tendo grande capacidade de adsorção, pelo que não influencia muito as propriedades químicas do solo, por sua vez o húmus é responsável pela agregação das argilas e aumenta a capacidade de retenção de água e nutrientes do solo (Varennnes, 2003).

Os efeitos da aplicação de calcário e estrume nas propriedades físicas do solo são importantes para a manutenção da sustentabilidade da agricultura. A curto prazo (menos de um ano) a incorporação de calcário no solo contribui para a melhoria da estrutura do solo através da estabilização dos agregados de partículas, pois em virtude de o calcário e os polímeros de hidróxido de alumínio, formados pela precipitação do ião Al^{3+} , se encontrarem no solo em quantidades suficientes, poderem actuar como agentes de ligação das partículas do solo (Haynes et al., 1998). A longo prazo (mais de 10 anos) a calagem aumentando a produção, contribui para o aumento do teor de MO em virtude do retorno ao solo de maior quantidade de MO através do aumento da massa radicular e dos resíduos de colheita (Haynes et al., 1998). Contudo, o efeito a longo prazo da calagem no teor da MO e nas propriedades físicas do solo continua polémico.

A aplicação de fertilizantes orgânicos pode conduzir a um abaixamento de pH uma vez que são decompostos por microrganismos libertando prótons, no entanto a incorporação de MO atenua os efeitos adversos do ião de alumínio, sendo as plantas mais tolerantes à acidez em solos mais ricos em MO. Contudo a correcção da acidez é a prática cultural que mais pode beneficiar a produtividade em solos ácidos (Varennnes, 2003).

A aplicação de calcário em solos ácidos contribui para o aumento da produção. Este facto deve-se ao aumento da fertilidade do solo devido ao incremento da mineralização da MO e da disponibilidade de P mas principalmente porque diminui a solubilidade do alumínio que é tóxico para as plantas (Cifu et al., 2004). Numa experiência ao longo de 15 anos, num solo com um pH (H_2O) de 4,9 e um teor de MO de 3,3 % Cifu et al. (2004) verificaram o efeito da incorporação de várias doses de calcário, no início da experiência, no pH do solo e na produção. Nesta experiência a aplicação de $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário aumentou o pH no primeiro ano de aplicação para um valor de pH de aproximadamente 7 e aumentou a produção das várias culturas. O pH diminuiu gradualmente ao longo do tempo, sendo o efeito residual superior a 15 anos, na camada de solo entre 20 e 60 cm a redução de acidez ocorreu decorridos 4 anos após a aplicação de calcário. A incorporação de metade do calcário reduziu a acidez e aumentou a produção apenas nos primeiros 5 anos e a incorporação do dobro do calcário não contribuiu para aumentar as produções durante os primeiros anos, mas as produções foram superiores nos últimos anos da experiência. Por sua vez Farhoodi et al. (2008) referiu que a maior produção de trigo, cevada e fava se verificou no segundo ano quando o pH subiu para 5,5-6,0 após a aplicação de 2 t ha^{-1} de calcário.

As espécies vegetais têm diferentes preferências em relação ao pH do solo, existindo plantas como a luzerna que preferem solos neutros ou ligeiramente alcalinos e outras como o tremoceiro e a batateira que preferem solos ácidos (Varennnes, 2003). A alface e a acelga preferem solos ricos em MO e têm ambas as culturas uma tolerância reduzida à acidez (Almeida, 2006).

1.2.6 Fertilização da alface e da acelga

1.2.6.1 Fertilização da cultura da alface

A alface é uma planta herbácea anual. As alfaces são ricas em vitamina A e C e fornecem vários minerais e fibra à dieta humana. Devido às exigências climáticas no Hemisfério Norte a sua produção ocorre apenas nas zonas temperadas. As temperaturas de 15 a 20 °C são consideradas ótimas para a produção da maior parte das cultivares e a permanência durante vários dias a temperaturas superiores a 24 °C prejudica a formação dos repolhos e provoca o alongamento dos caules (Almeida, 2006). O clima altera mais o crescimento da alface do que a acumulação de nitratos nas folhas, pois o crescimento está intimamente relacionado com a duração e intensidade da radiação solar. A alface do final do Outono é mais pequena e mais uniforme pois as condições de duração da radiação solar limitam o crescimento independentemente da disponibilidade de N. A alface de final de Primavera é maior e mais variável em peso, pois as condições de duração do período de radiação solar são ótimas para o crescimento da alface, e favorecem a acção dos fertilizantes existindo uma correlação entre a produção e a acumulação de nitratos nas folhas (Pavlou et al., 2005). A alface prefere solos de textura franca ou argilosa e ricos em MO. A sua sensibilidade à salinidade é moderada (o máximo valor sem quebra de produtividade é 1,3 dS m⁻¹) e é sensível à acidez (tendo um intervalo óptimo de pH entre 6,0 e 6,8 Maynard & Hochmuth, 1997). A alface é relativamente pouco exigente em nutrientes, embora devido ao fraco desenvolvimento do sistema radicular e rápido crescimento necessite de ter os nutrientes facilmente disponíveis. No entanto o excesso de N tem graves inconvenientes, nomeadamente um atraso na formação do repolho, repolhos pouco compactos e uma maior susceptibilidade a doenças (Almeida, 2006).

Vários autores abordaram as vantagens da fertilização orgânica da alface (Holness et al., 2008; Silva et al., 2010). Em virtude de a alface ser pouco exigente em N, este nutriente pode ser fornecido pela mineralização da matéria orgânica do solo, principalmente quando as temperaturas são elevadas e permitem a mineralização (Almeida, 2006). A contínua

libertação de N pela mineralização da MO ajusta-se melhor às necessidades da alface e um solo adubado organicamente propicia efeitos residuais progressivos com o aumento das doses aplicadas (Holness et al., 2008), fornecendo quantidades consideráveis de nutrientes e contribuindo para a fertilidade natural (Silva et al., 2010). Numa experiência de campo realizada em solo de textura arenosa Porto et al. (2008) referiram que a produção de alface com composto de estrume animal foi superior à produção utilizando fertilizantes químicos de síntese e que os teores de nitratos nas folhas foram inferiores na fertilização orgânica, podendo o N mineral ser substituído por um composto de estrume animal sem comprometer a produção. Numa outra experiência realizada durante 2 anos em cultura protegida Gent (2002) verificou que a cultura da alface com fertilização orgânica à base de composto de folhas cresceu mais rapidamente e as concentrações de N, P, K e Ca nas folhas foram 10 a 20 % superiores em relação à fertilização química de síntese. Ao comparar vários sistemas de produção Guadagnin et al. (2005) concluíram que o teor de nitratos é inferior no MPB em relação ao modo de produção convencional (MPC) e este por sua vez é inferior ao sistema hidropônico.

Várias experiências referiram que a produção da alface aumenta com a incorporação de MO (Gent, 2002; Porto et al. 2008). A produção de matéria fresca e matéria seca da alface aumentaram linearmente com as doses de composto orgânico (Silva et al., 2010; Santos et al., 2001). Manojlovic et al. (2009) referiram que a produção de alface foi significativamente superior nos talhões com composto de bovino (C/N = 11 e N = 2 %) e Guano (C/N = 3 e N = 15,3 %) em relação ao talhão de referência sem composto, mas as produções com os dois fertilizantes não apresentaram diferenças significativas entre si. Ribeiro et al. (2010) referiram, que a produção de alface com estrume de galinha (C/N = 10 e N = 3,9 %) foi superior em relação ao composto produzido durante 120 dias com detritos vegetais e estrume de bovinos (C/N = 17 e N = 1,1%) e que a mistura do estrume de galinha com estrume de bovinos compostada resultou em produções idênticas ao estrume de galinha, sendo portanto uma boa opção de fertilização pois reduz para metade os custos com o fertilizante comercial de estrume de galinha. A incorporação de MO também tem a vantagem de contribuir para a fertilização da segunda cultura. Santos et al. (2001) constataram que na cultura da alface o composto repôs parcialmente os nutrientes exportados no final da primeira cultura e proporcionou efeitos residuais progressivos com o aumento das doses de composto aplicado, verificados em plantas cultivadas 80 e 110 dias após incorporação do composto.

O aumento de produção de alface está directamente relacionado com o aumento de N disponível no solo e com o N acumulado nas folhas (Evanylo et al., 2008; Montemurro, 2010; Ribeiro et al., 2010). Numa experiência de campo durante 3 anos Montemurro (2010) analisou os efeitos de vários fertilizantes orgânicos na produção da alface e disponibilidade de N do solo. Este autor concluiu que é particularmente importante no caso da alface, a escolha de um fertilizante adequado pois a eficiência de utilização do N (produção / N acumulado nas folhas) pela alface é baixo o que requer uma elevada quantidade de MO no solo para obter uma produção elevada podendo originar riscos de contaminação ambiental. A recomendação de um fertilizante orgânico adequado e a dose a aplicar deve ter em consideração o teor de N mineral no solo e a acumulação de N na alface. No entanto, a disponibilidade de N está relacionada com as condições ambientais, as características do solo e as operações culturais, logo é necessário a integração destes factores com a produção e o estado de N na planta para concluir qual a melhor fertilização a recomendar (Montemurro, 2010). Ao determinar o fertilizante e a quantidade de composto a aplicar deve-se ter em consideração a quantidade de N mineralizável de modo que as plantas usem o N o mais eficientemente possível a fim de regular o nível de nitratos nas folhas e o N residual mineral no solo no fim da cultura (Manojlovic, 2009). Por exemplo, durante uma experiência em vasos Ribeiro et al. (2010) referiram que a mineralização de N do estrume de galinha durante o ciclo da alface foi de 53,4 % do N orgânico aplicado, enquanto a mineralização de N do composto de detritos vegetais e estrume de bovinos foi de 4,5 %. A elevada mineralização do estrume de galinha deve-se a uma relação C/N mais baixa (10,2) em comparação com o estrume de bovinos (16,2), à natureza do C que apresenta menor estabilidade no estrume de galinha sendo facilmente degradado pelos microrganismos e ao efeito do teor de N mineral elevado do estrume de galinha (5121 mg kg⁻¹ de matéria fresca) em comparação com o teor de N mineral do composto produzido de estrume bovino (45 mg kg⁻¹ de matéria fresca) (Ribeiro et al., 2010). Noutra experiência realizada com vários fertilizantes orgânicos Hammermeister et al., (2006) verificaram que a percentagem de mineralização de N total foi 50 a 70 % no composto de galinha e de penas, 10 a 40 % no extracto de luzerna e 10 % no vermicomposto. Elevadas quantidades de composto de galinha e de penas foram fitotóxicas para a produção da alface enquanto o vermicomposto não apresentou problemas de fitotoxicidade.

1.2.6.2 Fertilização da cultura da acelga

A acelga é uma planta bianual. As acelgas possuem um elevado teor em vitaminas A e C e em ferro (Fe) e sódio. É uma cultura de estação fresca, mas apresenta uma razoável tolerância ao calor. O sistema radicular é profundante e prefere solos de textura média, frescos e ricos em MO. A tolerância à salinidade é moderada a elevada e apresenta uma sensibilidade à acidez reduzida (o intervalo óptimo de pH situa-se entre 6 e 7) (Almeida, 2006).

A análise sensorial revelou que a acelga produzida segundo o modo de produção biológica retém a turgidez, a cor e o brilho durante mais tempo que a acelga convencional (Moreira et al., 2003).

A aplicação de composto aumenta significativamente a produção da acelga. Smith et al. (2001) referiram que numa experiência em vasos com solo arenoso aumentando a proporção de composto incorporado de 25 % para 50 % em peso, o peso de matéria fresca da acelga aumentou 68 %. Os mesmos autores referiram que o tipo de composto usado e o revolvimento durante a sua produção também influenciaram significativamente a produção, tendo a maior produção da acelga sido obtida com um composto de uma mistura de desperdícios de restos de colheita e jardim com revolvimento.

1.3 Objectivos do trabalho

A fertilização no MPB depende essencialmente da mineralização da MO e especificamente da gestão do N no solo visto que o N é o elemento limitante da produção. Em virtude da mineralização da MO depender das características do solo, das operações culturais e das condições climáticas, há necessidade da realização de experiências práticas a nível local com o objectivo de implementar as melhores práticas de fertilização nomeadamente na região do Entre-Douro e Minho. Em Portugal, dum modo geral, consome-se um número bastante restrito de plantas olerícolas diferentes à excepção dos consumidores de AB que procuram uma diversidade maior de produtos, havendo por isso necessidade de divulgar as técnicas de fertilização em AB referentes aos legumes menos produzidos em Portugal.

Neste estudo realizou-se uma rotação anual ao ar livre com alface e acelga, intercaladas por uma cultura de cobertura com centeio e ervilhaca para sideração antes da cultura da acelga. Os tratamentos incluíram a incorporação de calcário e composto de equinos com o objectivo de quantificar os efeitos da reacção do solo e do incremento da MO, na produção

destas culturas. Avaliou-se também o teor de nutrientes presentes nas folhas das culturas e a percentagem de nutrientes do composto com o objectivo de verificar o efeito da incorporação de composto e do calcário na acumulação de nutrientes nas folhas da alface e destes factores mais o efeito do adubo verde na acelga e relacionar o teor de nutrientes com a produção.

O objectivo final deste trabalho consiste em contribuir para otimizar a fertilização de culturas hortícolas de folha, no MPB, de modo a rentabilizar as produções e incrementar a fertilidade do solo no MPB de um modo sustentável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Experiências de campo com uma rotação de culturas

As experiências de campo foram realizadas na Quinta Casal de Matos que se situa a 41°, 12' de latitude, a 8°, 20' de longitude e aproximadamente 300 m de altitude, na freguesia de Vila Boa do Bispo, concelho de Marco de Canaveses. O solo foi formado com base em granito e rochas afins e é do tipo franco-arenoso ou franco; o risco de erosão é baixo.

As culturas consideradas na rotação anual foram: a alface (*Lactuca sativa* L.) variedade Maravilla de verano; uma cultura de cobertura para sideração como adubo-verde constituída por centeio (*Secale cereale*) e ervilhaca vilosa (*Vicia vilosa*) variedade Caia; e a acelga (*Beta vulgaris*) variedade Bietola da coste. O delineamento experimental foi constituído com 3 blocos casualizados com estrutura factorial de tratamentos, incluindo dois factores: (i) composto de equinos aplicado às culturas da alface e da acelga (nas doses de 0, 20 e 40 t ha⁻¹); e (ii) calcário aplicado à cultura da alface (nas doses de 0 e 8 t ha⁻¹ de CaCO₃ equivalente).

As várias operações culturais realizadas em 2009 e 2010 durante a rotação de culturas seguiram a calendarização que consta do Quadro 1.

Quadro 1. Calendário de execução das operações culturais

Operação cultural	DAP*	Ano	Mês	Dia
Sementeira da alface		2009	Julho	14
Preparação do terreno			Agosto	4
Plantação da alface				6
Colheita de amostras da alface	21			27
	35		Setembro	10
	49			24
Sementeira do adubo verde			Outubro	2
Colheita de amostras do adubo verde		2010	Abril	9
Sementeira da acelga			Março	23
Plantação da acelga			Abril	28
Colheita de amostras da acelga	21		Maio	19
	35		Junho	2
	49			16

*DAP representa o numero de dias após a plantação

A monitorização da temperatura foi realizada durante todas as culturas com 2 sensores, um colocado no solo a 10 cm de profundidade na posição horizontal e outro por baixo de uma placa reflectora branca a 30 cm de altura. A temperatura foi registada hora a hora num Data Logger DL2 do Delta Devices, sendo posteriormente calculadas as respectivas temperaturas médias diárias.

2.1.1 Alface

2.1.1.1 Preparação do terreno e fertilização

Antes da preparação do terreno as infestantes e os restos da cultura anterior foram destroçados utilizando um destroçador de martelos com 120 cm de largura, seguindo-se uma mobilização do solo a 20 cm de profundidade utilizando um escarificador de 7 dentes. Posteriormente realizou-se uma fresagem superficial com uma fresa horizontal de facas direitas para evitar a compactação do solo. O terreno, com a superfície de 180 m², foi dividido em 18 talhões de 10 m² com estacas e fio de nylon. Os talhões ficaram com a dimensão de 2 m de largura e 5 m de comprimento (Fig. 1).



Figura 1. Talhões para plantação da alface antes de espalhar uniformemente o composto nos respectivos talhões.

A alface foi plantada em três blocos casualizados. Cada bloco foi constituído por seis talhões que se destinaram aos tratamentos resultantes da estrutura factorial de três níveis de aplicação de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e dois níveis de calcário (0 e 8 t ha⁻¹). A figura 2

mostra o esquema com a localização dos diferentes talhões experimentais. Nos talhões que receberam calcário e composto, espalhou-se primeiro o calcário. A incorporação do composto e do calcário foi realizada com uma fresa horizontal de facas direitas a 15 cm de profundidade.

Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
E20C0	E40C0	E40C0	E20C8	E0C8	E40C8
E0C8	E0C0	E0C0	E0C8	E20C0	E40C0
E40C8	E20C8	E40C8	E20C0	E20C8	E0C0

Figura 2. Esquema dos talhões experimentais com calcário (C) nas doses de (0 e 8 t ha⁻¹) e composto de estrume (E) nas doses de (0, 20 e 40 t ha⁻¹).

2.1.1.1.1 Correção orgânica do solo

A primeira pilha de compostagem teve a duração de 9 meses e foi construída com materiais da cama de equinos: palha de trigo e dejectos. As instalações dos equinos foram limpas todos os dias e o estrume transportado para o campo e acumulado numa pilha com aproximadamente 2 m de largura, 1,5 m de altura e comprimento variável com o tempo. Após 4 a 5 meses quando a quantidade de estrume era suficiente para a realização de uma pilha de compostagem, esta foi executada com o auxílio de um tractor equipado com uma pá frontal munida de forquilha e um distribuidor de estrume equipado com uma adaptação na parte traseira que permite que os materiais em vez de se espalharem se acumulem no mesmo sítio formando uma pilha (Fig. 3 a). A pilha final com a dimensão aproximada de 1,8 m de largura, 1,5 m de altura e comprimento variável foi realizada no início de Novembro e sofreu dois revolvimentos com o auxílio do distribuidor de estrume e da forquilha do tractor aos 3 e 6 meses de modo a permitir a compostagem mais ou menos homogénea de todas as partes da pilha. A pilha foi coberta com uma rede de ensombreamento dupla quando as condições climáticas eram adversas a fim de evitar a acumulação de água da chuva em excesso ou a secagem da parte exterior da pilha (Fig. 3 b).

2.1.1.1.2 Calagem

O correctivo alcalinizante utilizado foi o Calmag da Agrifértil, proveniente de sedimentos de fosseis de algas marinhas e de elevada reactividade. Possui um valor neutralizante de 93 % e contém 88 % de CaCO₃ e 5 % de MgCO₃.

Considerando o teor de matéria orgânica (2,1 %) e o valor de pH (H₂O) de 4,8 do solo experimental, definiram-se os níveis de 0 e 8 t ha⁻¹ de equivalente a carbonato de cálcio (8,6 t ha⁻¹ de Calmag) para avaliar o efeito da correção do solo no início da presente rotação em combinação com a aplicação de composto às culturas da alface e posteriormente da acelga.

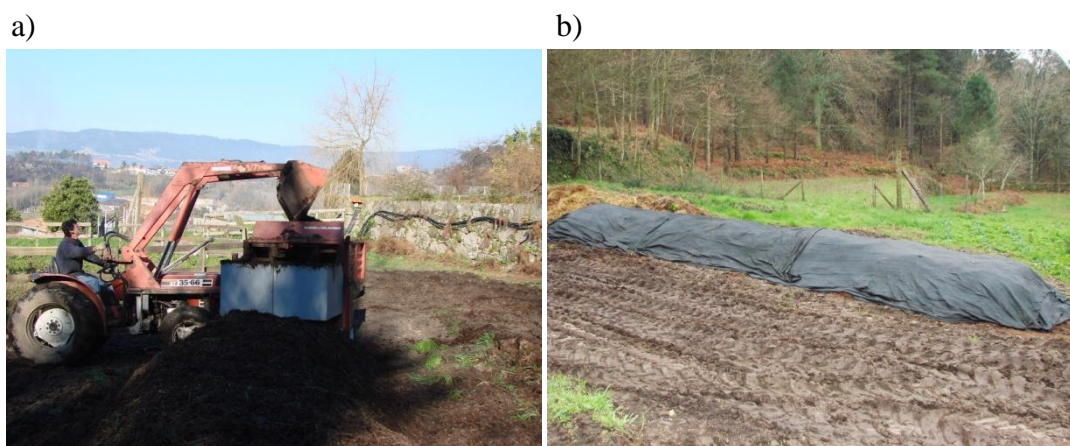


Figura 3. Pilha de compostagem (a) durante o revolvimento e (b) coberta com rede de ensombreamento.

2.1.1.2 Sementeira e plantação

A sementeira da alface (*Lactuca sativa* L.) foi realizada no dia 14 de Julho de 2009 em tabuleiros de polietileno com alvéolos com o volume de 35 ml. Utilizou-se o substrato biológico Tray mix, fabricado pela empresa Bas Van Buuren, composto por 100 % de turfa e contendo 34 % de carbono, 0,2 % de N orgânico, 60 % de MO, um valor de pH variável entre 5 e 6,5 e um índice de salinidade inferior a 1,5 g l⁻¹. As sementes foram cobertas com vermiculite.

Para a plantação das alfaces foram construídos camalhões com 1,3 m de largura e 5 m de comprimento, separados por caminhos de 0,5 m de largura. A plantação foi realizada em quatro linhas distanciadas entre si de 0,33 m, sendo a distância entre as plantas na linha igualmente de 0,33 m. Para o efeito colocaram-se 4 fios a todo o comprimento do camalhão à distância de 0,33 m e usou-se uma medida de 0,33 m para garantir a distância de plantação na linha (Fig. 4).



Figura 4. Camalhões de alface constituídos por quatro linhas e o compasso de 0,33 x 0,33 m.

2.1.1.3 Controlo de infestantes e rega

A eliminação das infestantes foi realizada com um sacho de lâmina manual (Fig. 5). Foram realizadas 4 sachas para evitar a presença de infestantes que pudessem competir por nutrientes alterando os resultados da experiência, já que se pretendeu estimar as taxas de mineralização da MO de composto. As sachas foram executadas em 15 de Agosto, 22 de Agosto, 1 de Setembro e 10 de Setembro de 2009.

A rega foi realizada com mini aspersores de longo alcance comercializados pela empresa Nova Rocha. Os aspersores têm um débito entre 140 a 225 l hora⁻¹ e um raio de alcance de 6 a 7 m. Estes aspersores foram colocados de ambos os lados do terreno à distância de 6 m entre eles, sendo regulado para todos um sector de rega de 180°. A rega foi realizada de modo a impedir que a falta de água fosse um factor limitante do crescimento das alfaces.

2.1.2 Adubo verde (centeio e ervilhaca vilosa)

2.1.2.1 Preparação do terreno e sementeira

Após a última colheita das alfaces, a mobilização do solo foi realizada com um escarificador de 7 dentes, o acabamento superficial de modo a conseguir uma boa cama para a semente foi realizado com uma fresa de facas direitas.

Os talhões foram semeados individualmente de modo a garantir a mesma quantidade de semente em todos os talhões, a quantidade de semente utilizada foi 120 kg ha⁻¹ de centeio e

60 kg ha⁻¹ de ervilhaca vilosa, ou seja 120 g de semente de centeio e 60 g de semente de ervilhaca vilosa em cada talhão de 10 m².

A semente foi enterrada a 5cm de profundidade usando um vibrocultor de 155cm de largura de trabalho.



Figura 5. Limpeza de infestantes.

2.1.2.2 Incorporação do adubo verde no solo

O adubo verde foi destocado no dia 10 de Abril de 2010, 189 dias após a sementeira, quando a maior parte da ervilhaca estava em floração e o centeio em grão pastoso, utilizando um destocador de martelos com 120 cm de largura, acoplado ao tractor (Fig 6). Após uma secagem prévia à superfície durante 2 dias o adubo verde foi incorporado no solo à profundidade de 20 cm de profundidade utilizando um escarificador de 7 dentes. Posteriormente foram espalhadas no terreno as doses de composto correspondentes aos 3 níveis de aplicação (0, 20 e 40 t ha⁻¹) nos talhões respectivos, de acordo com o esquema apresentado na figura 2. A incorporação do composto foi realizada com uma fresa horizontal de facas direitas a 15 cm de profundidade.



Figura 6. Destroçamento do adubo verde com um destroçador a martelos.

2.1.3 Acelga

2.1.3.1 Preparação do terreno e correcção orgânica do solo

No dia 28 de Abril, 16 dias após a incorporação no solo do adubo verde e do composto, foi realizada uma fresagem superficial a fim de eliminar as infestantes e nivelar o solo para a plantação das acelgas.

A pilha de composto utilizada para esta cultura teve a duração aproximada de 7 meses (3 de Setembro a 12 de Abril) tendo sofrido um revolvimento com o auxílio do distribuidor de estrume e da forquilha do tractor aos 4 meses de modo a permitir a fermentação mais ou menos homogénea de todas as partes da pilha. Os procedimentos na execução desta pilha de composto foram idênticos aos utilizados para a pilha de composto referida anteriormente para incorporação no solo antes da plantação da alface.

2.1.3.2 Sementeira e plantação

A acelga (*Beta vulgaris*) foi semeada em tabuleiros de polietileno com alvéolos com o volume de 70 ml. O substrato biológico usado foi o Tray mix, com as especificações anteriormente referidas. As sementes foram cobertas com vermiculite.

Para a plantação da acelga foram realizados camalhões de 1,3 x 5 m com caminhos entre eles de 0,5 m. A plantação foi realizada em três linhas distanciadas entre si 0,45 m, sendo a distância entre as plantas na linha igualmente 0,45 m, para o efeito colocaram-se 3 fios a

todo o comprimento do camalhão à distância de 0,45 m e usou-se uma medida de 0,45 m para garantir a distância de plantação na linha (Fig. 7).



Figura 7. Plantação das acelgas.

2.1.3.3 Controlo de infestantes e rega

A eliminação de infestantes foi realizada com um sachó de lâmina manual. Foram realizadas 2 sachas após a primeira e a segunda colheita para evitar a presença de infestantes que pudessem competir por nutrientes.

A rega foi realizada com o mesmo equipamento utilizado para a alface e a disposição dos mini-aspersores foi idêntica. A rega foi realizada de modo a impedir que a falta de água fosse um factor limitante do crescimento das acelgas.

2.2 Colheita de amostras

2.2.1 Solo e composto

Colheram-se 6 amostras de solo na área de 180 m² onde se realizou a experiência. Para a colheita de cada amostra foram recolhidas aproximadamente 20 sub-amostras aleatoriamente no campo, entre 0 e 20 cm de profundidade com o auxílio de uma sonda. As sub-amostras foram colocadas num balde de plástico, seguidamente a mistura foi homogeneizada e retirou-se a amostra de 0,5 kg para um saco de plástico. As amostras foram divididas em 2 sacos, um com 100 g e o outro com 400 g. As amostras de 100 g

Foram colhidas 6 amostras de composto nas pilhas de composto utilizadas para fertilização das culturas da alface e da acelga. Para a obtenção de cada uma destas amostras foram retiradas da pilha de composto cerca de 20 sub-amostras aleatoriamente a várias profundidades e colocadas num balde, seguidamente a mistura foi homogeneizada e retirou-se 0,5 kg para um saco de plástico. Estas amostras foram conservadas e analisadas de acordo com o referido para os solos.

Foram realizadas três colheitas de amostras de quatro alfaces em cada tratamento para a realização de análises laboratoriais. A primeira colheita foi realizada 3 semanas após a plantação e segunda e a terceira colheitas 5 e 7 semanas respectivamente. A localização das alfaces de cada colheita encontra-se representada na fig. 8 a). As 4 alfaces do centro de cada talhão foram cortadas junto ao solo e colocadas em sacos de papel. A figura 8 b) mostra os talhões das alfaces antes da última colheita.

[illegible]

A colheita das amostras de adubo verde para estimativa de produção e para análise do teor de nutrientes da cultura foi realizada antes da incorporação do adubo verde no solo, com base em 1 m² de matéria fresca por talhão. Daquela matéria fresca de cada talhão,

constituíram-se amostras para determinação dos teores de matéria seca e nutrientes. A colheita foi realizada lançando aleatoriamente em cada talhão um quadrado feito de arame com 1 m de lado.

Foram realizadas três colheitas de amostras de duas acelgas cada para a realização de análises laboratoriais. A primeira colheita foi realizada 3 semanas após a plantação e segunda e a terceira colheitas 5 e 7 semanas respectivamente. A localização das acelgas de cada colheita encontra-se representada na figura 9 a). As duas acelgas do centro de cada talhão foram cortadas junto ao solo e colocadas em sacos de papel. A figura 9 b) mostra os talhões das acelgas antes da última colheita.

a)

x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
x	x	1 ^a c	1 ^a c	x	2 ^a c	2 ^a c	x	3 ^a c	3 ^a c	x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

b)



Figura 9. Localização das amostras da acelga num talhão de 10m² (a) e talhões da acelga antes da última colheita (b).

2.3 Análises laboratoriais

2.3.1 Métodos laboratoriais para análise das características do solo

a) pH e condutividade eléctrica

A determinação do pH foi feita por extracção em água desionizada a 22 °C na proporção de 1 volume de amostra para 5 volumes de água. A leitura foi feita com um potenciómetro e um eléctrodo combinado para pH.

A CE do extracto de solo foi determinada utilizando um conductivímetro e comparando com a CE de uma solução de concentração conhecida de cloreto de potássio a 20°C, de acordo com a fórmula seguinte: condutividade do solo = condutividade extracto de solo x 1273 / C.

b) Teor de matéria orgânica

A matéria orgânica do solo foi determinada recorrendo ao método Tinsley, que consiste na oxidação da matéria orgânica por digestão com um agente oxidante, o dicromato de sódio. Conhecida a quantidade de dicromato de sódio gasto na oxidação do carbono orgânico através de uma titulação com sal de Mohr e multiplicando pelo factor de conversão de dicromato de sódio em carbono, obteve-se a percentagem de carbono da amostra. A percentagem de matéria orgânica foi calculada multiplicando a percentagem de carbono pelo factor de “Van Bemmelen” de 1,724.

c) Teor de P_2O_5 Ext

O fósforo foi determinado por colorimetria usando o método Egnér-Riehm, no qual a extracção do fósforo é efectuada com uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH compreendido entre 3,65 e 3,75.

d) Teor de K_2O Ext

O potássio foi determinado por fotometria de chama usando o método Egnér-Riehm, segundo o qual a extracção do K^+ de troca é feita com uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH compreendido entre 3,65 e 3,75.

e) Digestão sulfúrica para análise dos teores totais de N e P

Pesaram-se aproximadamente 0,2 g de solo colocados num tubo de ensaio recorrendo a uma balança de precisão e registaram-se os pesos exactos das amostras para posterior cálculo de N e P. De seguida com o auxílio de uma pipeta adicionaram-se 4 ml de ácido sulfúrico. Posteriormente adicionaram-se 3 ml de peróxido de hidrogénio gradualmente. Colocaram-se os tubos de ensaio numa placa de digestão programada para 120 °C durante 60 minutos e 320 °C durante 180 minutos. Depois de a mistura ter arrefecido acertou-se o volume com água desionizada até aos 50 ml. A mistura foi filtrada para frascos de polietileno e enviados para a UTAD onde foram analisadas com um espectrofotómetro de absorção molecular para determinação dos teores de N e P. Os teores de N e P no solo foram calculados pela seguinte fórmula: teores de N e P = leitura do espectrofotómetro x 50 / peso da amostra

f) Digestão nitro-perclórica para análise dos teores totais de K, Ca, Mg

Pesaram-se aproximadamente 0,2 g de solo dentro de um tubo de ensaio numa balança de precisão e registaram-se os pesos para posterior cálculo de K, Ca e Mg. De seguida com o auxílio de uma pipeta adicionaram-se 6 ml de ácido nítrico a 65 %. Colocou-se um funil de vidro para fazer refluxo durante o processo de digestão. Colocaram-se os tubos de ensaio numa placa de digestão programada para 50 °C, 80 °C, 150 °C e 165 °C, sucessivamente durante períodos de 30 minutos para cada temperatura. No final desta fase de digestão adicionaram-se 4 ml de ácido perclórico a 70 %. A placa de digestão foi novamente programada para períodos de 30 minutos às temperaturas de 165 °C, 180 °C, 190 °C e 200 °C. Depois de os tubos arrefecerem adicionaram-se 10 ml de ácido perclórico e a placa foi programada para 120 °C durante 60 minutos. Deixou-se arrefecer a mistura e acertou-se o volume até 50 ml. A mistura foi filtrada para frascos de polietileno e enviados para a UTAD onde foram analisadas com um espectrofotómetro de absorção atómica para determinação dos teores de K, Ca e Mg. Os teores de K, Ca e Mg no solo foram calculados pela seguinte fórmula: teores de K, Ca e Mg = Leitura do espectrofotómetro x diluição / massa da amostra.

g) Extracção com KCL para determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^-

As amostras foram retiradas do congelador e procedeu-se à pesagem de 10 g de solo dentro de um tubo de ensaio, seguidamente diluiu-se esta amostra em 50 ml KCl 2M. Esta mistura foi homogeneizada num agitador mecânico e filtrada com um filtro VWR de 12,15 µm para tubos de polietileno. Estes tubos de polietileno foram acondicionados e enviados para a UTAD onde se recorreu a um espectrofotómetro de absorção molecular para determinação dos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- .

2.3.2 Métodos laboratoriais para análise das características do composto

Os métodos analíticos utilizados para os compostos foram idênticos aos utilizados para os solos, anteriormente descritos, excepto para a determinação da MO que nos compostos foi realizada por gravimetria. As amostras secas foram calcinadas durante 4 horas a 550 °C, sendo a MO estimada pela diferença entre o peso seco da amostra e o peso da cinza.

2.3.3 Métodos laboratoriais para análise das características das plantas

a) Determinação do peso fresco e matéria seca

As alfaces e as acelgas foram pesadas numa balança de precisão e calculado o peso fresco médio por planta. A biomassa da cultura de cobertura correspondente à área de 1 m² também foi pesado numa balança de precisão e registado o respectivo peso fresco. Após a secagem das plantas na estufa a 75 °C durante um período mínimo de 48 horas, estas foram pesadas novamente e calculou-se a percentagem de humidade. No dia da transplantação foram retiradas aleatoriamente dos tabuleiros de alfaces e das acelgas 4 grupos de 10 plantas cada, seguindo o mesmo procedimento que as amostras retiradas do campo. Na última colheita a matéria seca das alfaces, das acelgas e da cultura de cobertura foram moídas num moinho Retsch GM 200 durante 5 segundos a 4000 rpm. As amostras depois de moídas e convenientemente identificadas foram guardadas em tubos de ensaio convenientemente fechados para proceder à digestão sulfúrica a fim de determinar os teores de N e P e digestão nitro-perclórica para determinar os teores de K, Ca, Mg e Fe.

b) Digestão sulfúrica e nitro-perclórica para análise dos teores totais de N, P K, Ca, Mg e Fe

Os procedimentos laboratoriais seguidos para a realização das análises na matéria seca da alface, do adubo verde e da acelga foram idênticos. Para o cálculo de N e P pesaram-se aproximadamente 0,2 g dentro de um tubo de ensaio numa balança de precisão e registaram-se os pesos para posterior realização da digestão sulfúrica. Para o cálculo de K, Ca, Mg e Fe pesaram-se também aproximadamente 0,2 g dentro de um tubo de ensaio numa balança de precisão e registaram-se os pesos para posterior realização da digestão nitro-perclórica. Os procedimentos para a realização das digestões foram análogos aos realizados para o solo e o composto.

2.4 Análise estatística

A análise estatística dos resultados experimentais realizou-se utilizando a análise de variância com o programa SPSS, v16. A análise foi realizada com base num modelo com blocos casualizados e 2 factores com estrutura factorial de tratamentos, sendo a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) para comparar as médias dos resultados dos diferentes tratamentos.

3. RESULTADOS

3.1 Cultura da alface

3.1.1 Temperatura do ar e características do solo

Durante o período em que se realizou a cultura da alface a temperatura média do solo e do ar foram respectivamente 20,7 e 20,6 °C. A temperatura máxima do solo foi 24,6 °C e do ar 26,3 °C e as temperaturas mínimas do solo e do ar foram respectivamente 15,7 °C e 14,7 °C (Fig. 10). As características físicas e químicas do solo inicial estão representadas no quadro 2.

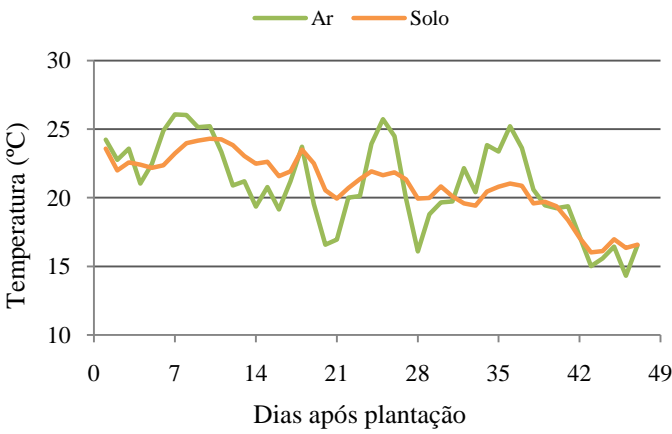


Figura 10. Temperatura do ar e do solo durante o ciclo de vida da alface.

Quadro 2. Características do solo

	MS	pH	CE	OM	C/N	N	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg
	(%)		(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Média	85,2	4,8	0,64	21	17	0,7	10	13	0,6	2,9	1,4	3,8
DP	0,3	0,1	0,06	4,3	5	0,1	4	3	0,1	1,1	0,2	0,3

A matéria orgânica (MO) e o teor de nutrientes foram calculados com base na matéria seca

3.1.2 Peso fresco e peso seco

As características físicas e químicas do composto incorporado no solo antes da plantação da alface estão representadas no quadro 3. Os valores de produção de alface foram sempre superiores com a aplicação de doses crescentes de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e com calcário (0 e 8 t ha⁻¹), no entanto a produção de alface (Fig. 11) apenas aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação simultânea de 40 t ha⁻¹ de composto e

calcário (35,8 t ha⁻¹) em relação ao tratamento de controlo não fertilizado (25,6 t ha⁻¹) (40 %). A produção aumentou numericamente com a aplicação de 20 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹ respectivamente 10 % e 26 % e com a aplicação de calcário a produção aumentou 15 % (Fig. 12). Os aumentos percentuais no peso fresco com doses crescentes de composto e calcário foram superiores na 2ª colheita (35 dias após a plantação), na qual, o peso fresco aumentou numericamente 38 % e 58 % com a aplicação de 20 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹ de composto respectivamente em relação ao tratamento testemunha e aumentou 33 % com a incorporação de calcário (Fig 13).

Quadro 3. Características do composto incorporado antes da plantação da alface.

	MS	pH	CE	OM	C/N	N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg
	(%)		(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Média	31,8	7,8	2,41	330	25	7,2	39	121	2,6	9,6	8,5	4,4
DP	2,1	0,0	0,02	15,1	3,1	1	13	30	0,1	0,6	0,7	0,1

A matéria orgânica (MO) e o teor de nutrientes foram calculados com base na matéria seca

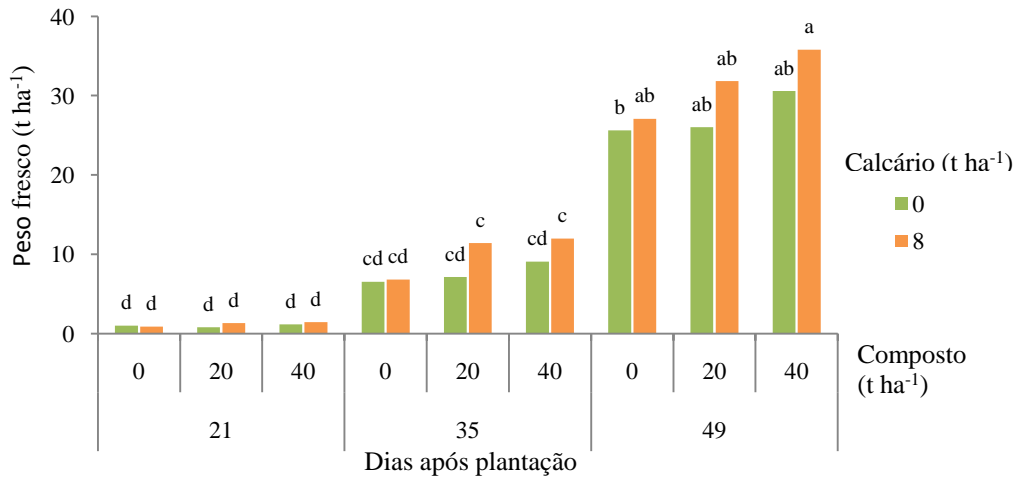


Figura 11. Peso fresco da alface 21, 35 e 49 dias após a plantação.

O teor de humidade não foi significativamente diferente entre os vários tratamentos com composto e calcário na mesma colheita.

O peso seco aumentou significativamente com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (1,8 t ha⁻¹) em relação aos tratamentos de 0 e 20 t ha⁻¹ com ou sem calcário, onde o peso seco variou entre 1,4 e 1,5 t ha⁻¹. (Fig. 14). O peso seco também aumentou

significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação de 40 t ha^{-1} composto em relação a 0 t ha^{-1} de composto de 1,3 para $1,7 \text{ t ha}^{-1}$.

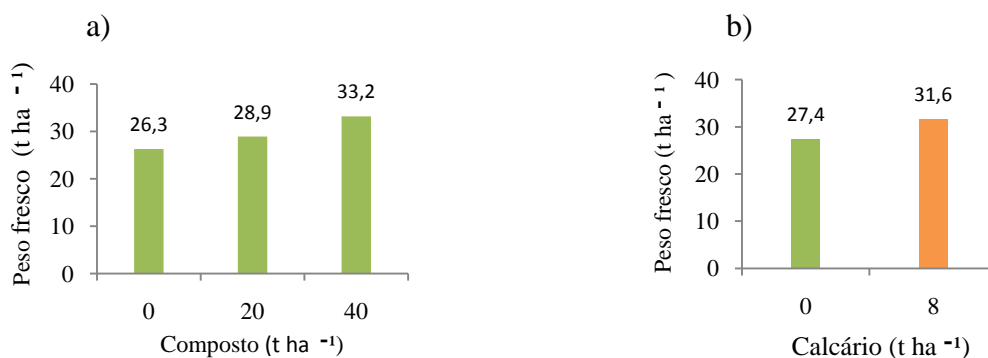


Figura 12. Peso fresco na 3ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário (a) e com aplicação de calcário para a média das doses de composto (b).

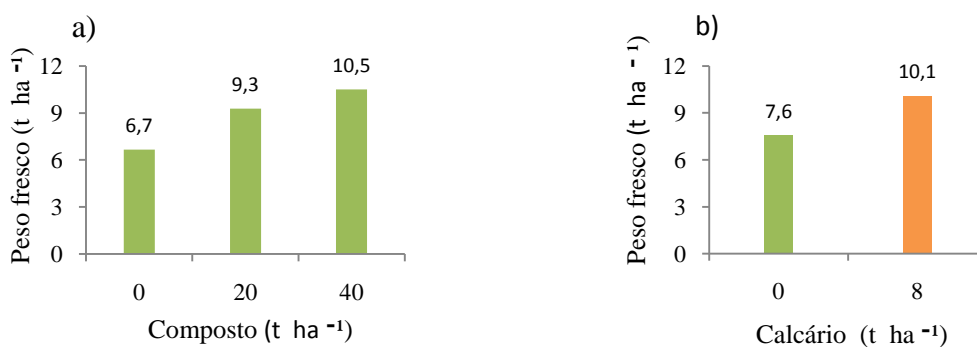


Figura 13. Peso fresco na 2ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário (a) e com aplicação de calcário para a média das doses de composto (b).

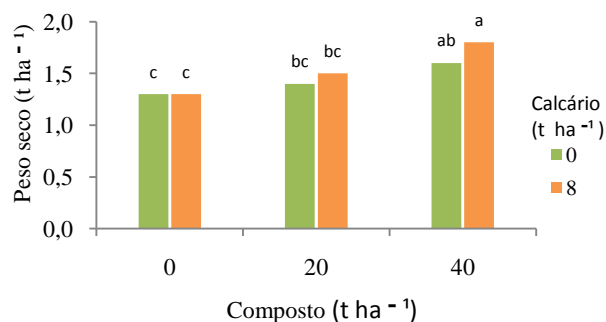


Figura 14. Peso seco da alface na 3ª colheita em resposta ao composto e ao calcário.

3.1.3 Teor e acumulação de nutrientes nas folhas

Os teores de nutrientes nas folhas da alface estão representados no quadro 4. A acumulação de nutrientes (kg ha^{-1}) foi calculada multiplicando o teor de nutrientes (g kg^{-1}) pela matéria seca (t ha^{-1}). A acumulação de nutrientes nas folhas da alface (Fig. 15) não variou significativamente entre os tratamentos excepto pontualmente no caso de N e K. A acumulação de K nas folhas no tratamento com 20 t ha^{-1} de composto sem calcário ($74,0 \text{ kg ha}^{-1}$) foi significativamente superior ($p < 0,05$) em relação ao tratamento testemunha ($38,6 \text{ kg ha}^{-1}$). A acumulação de N e P aumentou numericamente com o incremento das doses de composto, verificando-se diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas no valor de N com a aplicação de 40 t ha^{-1} de composto ($45,7 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao tratamento não fertilizado ($38,6 \text{ kg ha}^{-1}$). Para os nutrientes Ca, Mg e Fe não foram encontradas diferenças significativas, no entanto foram encontrados teores numericamente mais elevados destes elementos com a aplicação de 20 t ha^{-1} . A incorporação de calcário não teve efeito significativo na acumulação de nutrientes nas folhas.

Quadro 4. Teor de nutrientes nas folhas da alface

Composto (t ha^{-1})	Calcário (t ha^{-1})	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	Mg (g kg^{-1})	Fe (g kg^{-1})
0	0	26,1	3,6	29,9	7,9	3,1	0,4
0	8	23,9	3,6	37,4	8,7	3,0	0,3
20	0	25,8	3,5	51,9	9,4	3,9	0,4
20	8	26,1	3,7	42,2	8,8	4,0	0,4
40	0	29,5	3,8	32,7	8,2	4,2	0,3
40	8	25,7	3,7	35,4	7,3	2,4	0,2

3.1.4 Recuperação dos nutrientes do composto

A recuperação dos nutrientes foi calculada pela diferença entre os nutrientes acumulados nas folhas da alface com e sem composto, dividida pelos nutrientes acumulados no composto, para a mesma dose de calcário. A aplicação de calcário beneficiou a recuperação de N com 20 t ha^{-1} composto (de 2,8 para 20,5 %) e com 40 t ha^{-1} (de 13,3 para 16,4 %). A aplicação de calcário também beneficiou a recuperação de P com 20 t ha^{-1} composto (de 1,4 para 6,3 %) e com 40 t ha^{-1} (de 4,1 para 5,8 %) e de Mg com 20 t ha^{-1} de composto (de 3,6 para 7,3 %). A aplicação de maior dose de composto não beneficiou (em

termos relativos) a recuperação de nutrientes, sendo a máxima recuperação de N (20,5 %) com 20 t ha⁻¹ de composto e com calcário. A maior recuperação foi de K, verificou-se com 20 t ha⁻¹ de composto sem calcário (57,8 %) e com calcário (28,5 %). As recuperações de P (< 6,3 %), do Ca (< 5,2 %) e do Mg (< 7,3 %) foram baixas (Quadro 5).

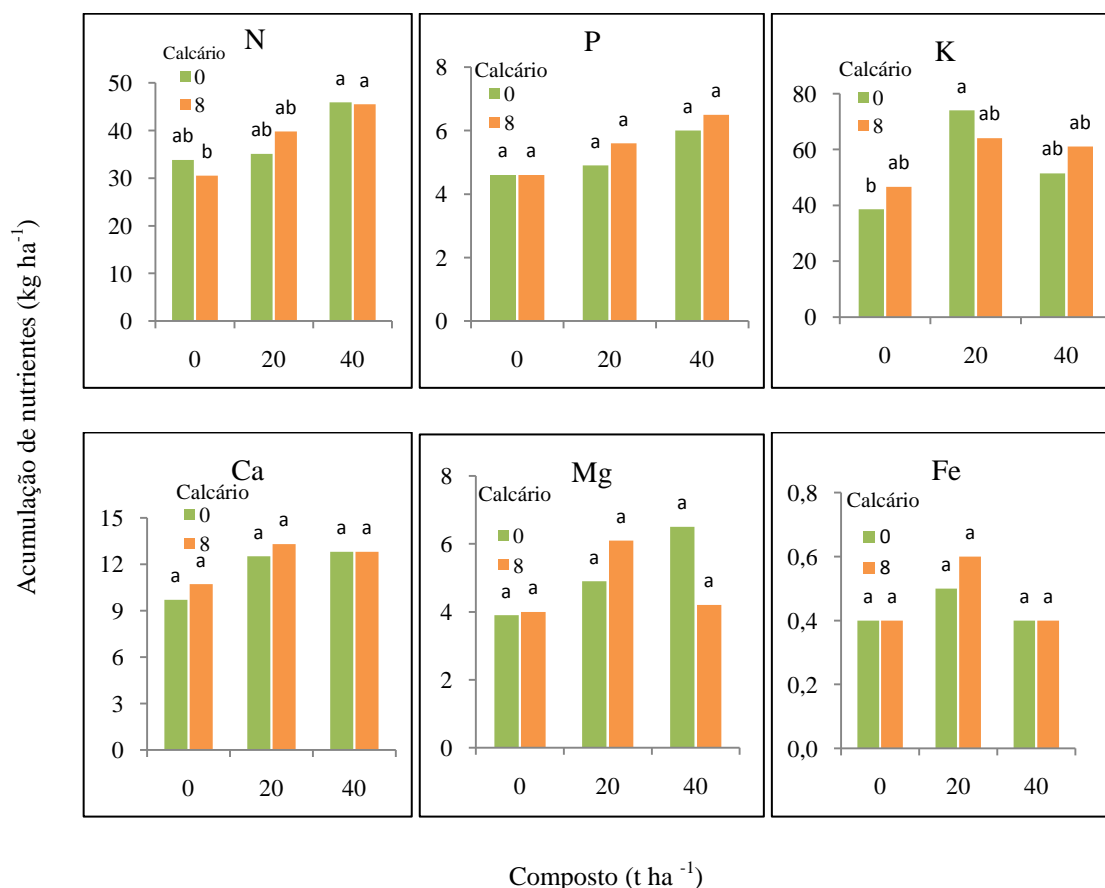


Figura 15. Acumulação de nutrientes na alfafa em resposta à incorporação de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e calcário (0 e 8 t ha⁻¹) no solo.

Quadro 5. Recuperação de nutrientes do composto aplicado em doses crescentes, para a mesma dose de calcário.

Composto e calcário (t ha ⁻¹)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)
20 0 versus 0 0	2,8	1,4	57,8	5,2	3,6	0,1
20 8 versus 0 8	20,5	6,3	28,5	4,8	7,3	0,3
40 0 versus 0 0	13,3	4,1	10,5	2,9	4,6	0,0
40 8 versus 0 8	16,4	5,8	11,8	1,9	0,2	0,0

3.1.5 Taxa de mineralização da matéria orgânica do composto

A taxa de mineralização aparente do N (%) foi estimada pela diferença entre o N acumulado na alface produzida com e sem composto, após subtração do N mineral existente no composto aplicado ao solo, a dividir pelo N orgânico do composto (Quadro 6). A taxa de mineralização foi máxima (18,25 %) com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto e calcário. A taxa de mineralização aumentou com a aplicação de calcário para o tratamento com 20 t ha⁻¹ de 0,57 para 18,25 % e com 40 t ha⁻¹ de 11,03 para 14,21 %.

Quadro 6. Taxas de mineralização de N com a aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ de composto com e sem aplicação de calcário.

Composto e calcário (t ha ⁻¹)	Recuperação de N (%)	N mineralizado (%)	Taxa de mineralização (%)
20 0 versus 0 0	2,8	2,2	0,6
20 8 versus 0 8	20,5	2,2	18,2
40 0 versus 0 0	13,2	2,2	11,0
40 8 versus 0 8	16,4	2,2	14,2

3.2 Cultura de centeio e ervilhaca para sideração

3.2.1 Temperatura do ar e do solo

Durante o período em que se realizou a cultura do centeio com ervilhaca a temperatura média do solo e do ar foram respectivamente 10,8 e 10,5 °C. A temperatura máxima do solo foi 22,0 °C e do ar 22,7 °C enquanto as temperaturas mínimas do solo e do ar foram respectivamente 3,9 °C e 0,3 °C (Fig. 16).

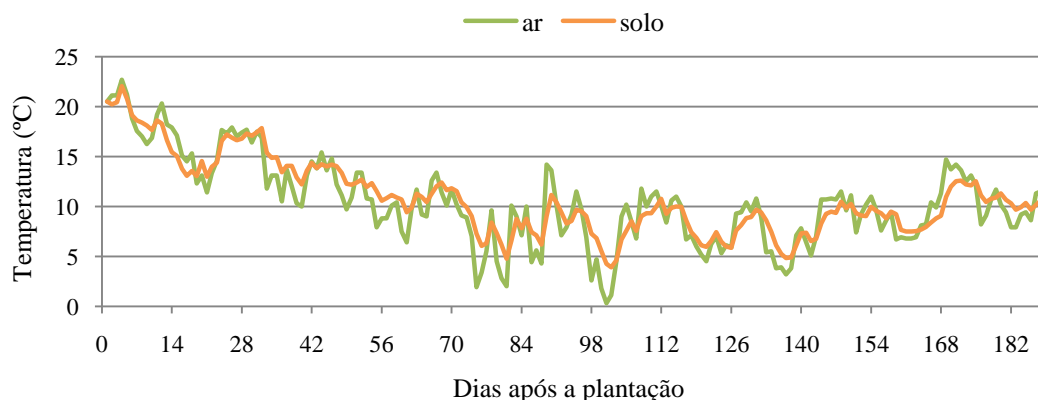


Figura 16. Temperatura do ar e do solo durante o ciclo cultural da cultura de cobertura.

3.2.2 Peso fresco e peso seco

A produção média de adubo verde (Fig. 18) aumentou numericamente com a aplicação de doses crescentes de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e calcário (0 e 8 t ha⁻¹), no entanto a produção apenas aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto (34,6 t ha⁻¹) e 8 t ha⁻¹ de calcário em relação ao tratamento sem composto (25,2 t ha⁻¹) (37 %). A produção aumentou com a aplicação de 20 e 40 t ha⁻¹ de composto respectivamente 12 e 21 % e com a aplicação de calcário 8 % (Fig. 18).

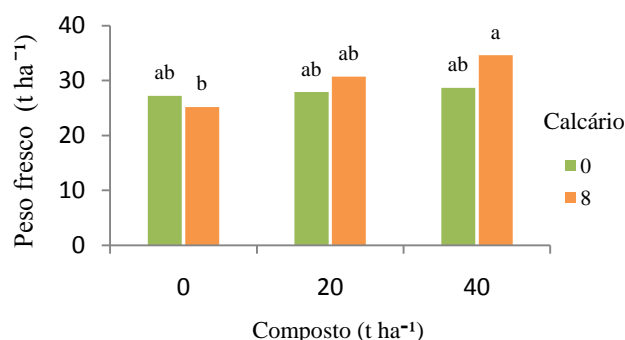


Figura 17. Peso fresco do adubo verde na colheita

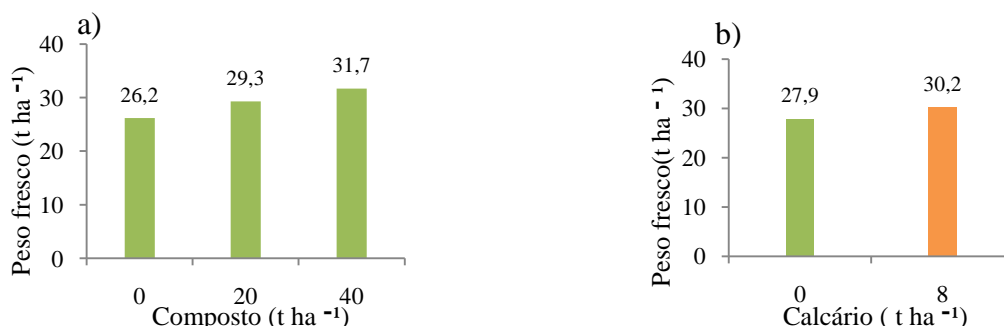


Figura 18. Peso fresco na colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário (a) e com aplicação de calcário para a média das doses de composto (b).

O teor de humidade aumentou significativamente com a aplicação de calcário de 79,9 % para 81,1 % e com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário em relação aos tratamentos de 0, 20 e 40 t ha⁻¹ de composto sem calcário.

O peso seco aumentou significativamente com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto com calcário (6,1 t ha⁻¹) em relação ao tratamento com 0 t ha⁻¹ de composto com calcário (4,8 t ha⁻¹) (Fig. 19). O peso seco também aumentou significativamente ($p < 0,05$) de 5,1 para 6,0 t ha⁻¹ com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação a 0 t ha⁻¹ de composto.

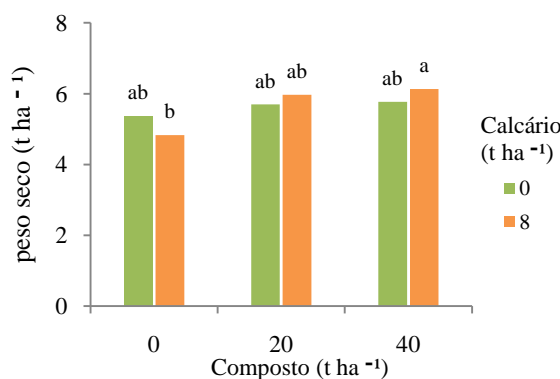


Figura 19. Peso seco da cultura de cobertura em resposta ao composto e ao calcário.

3.2.3 Teor e acumulação de nutrientes na biomassa acima da superfície do solo

Os teores de nutrientes do adubo verde estão representados no quadro 7. Na acumulação de nutrientes nas folhas do adubo verde (Fig 20) verificou-se que no tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e 8 t ha⁻¹ de calcário a acumulação de N (127,4 kg ha⁻¹) em relação ao mesmo tratamento sem calcário (84,4 kg ha⁻¹), a acumulação de P (24,9 kg ha⁻¹) em relação aos restantes tratamentos e a acumulação de K (197,5 kg ha⁻¹) em relação ao tratamento sem qualquer fertilizante (124,2 kg ha⁻¹) foram significativamente ($p < 0,05$) superiores. A acumulação de Ca e Mg no tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e com calcário (53,3 e 10,5 kg ha⁻¹ respectivamente) foi superior ($p < 0,05$) em relação ao mesmo tratamento sem calcário (32,6 e 7,3 kg ha⁻¹ respectivamente), não se verificando diferenças significativas entre os tratamentos com 0 e 20 t ha⁻¹ de composto com e sem calcário. A aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto beneficiou significativamente ($p < 0,05$) a acumulação de P (de 17,0 para 21,9 kg ha⁻¹), de K (de 122,4 para 172,3 kg ha⁻¹), de Ca (de 33,2 para 42,9 kg ha⁻¹) e de Mg (de 6,9 para 8,9 kg ha⁻¹) em relação a 0 t ha⁻¹ de composto.

Quadro 7. Teor de nutrientes nas folhas do adubo verde

Composto	Calcário	N	P	K	Ca	Mg	Fe
(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
0	0	18,5	3,2	22,8	6,5	1,4	0,3
0	8	18,7	3,5	25,4	6,7	1,3	0,3
20	0	17,4	3,6	24,5	6,5	1,4	0,2
20	8	17,0	3,3	26,8	6,6	1,3	0,2
40	0	14,8	3,3	25,5	5,7	1,3	0,2
40	8	17,9	3,5	27,7	7,5	1,5	0,2

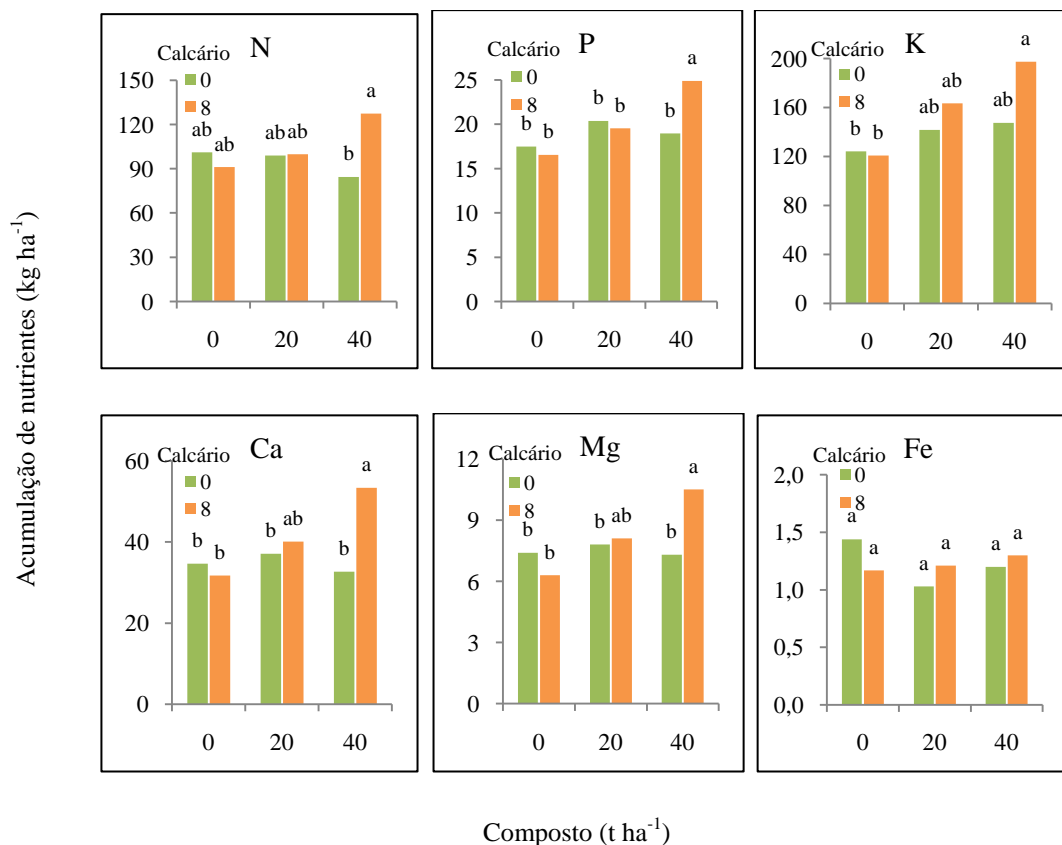


Figura 20. Acumulação de nutrientes em resposta à incorporação de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e calcário (0 e 8 t ha⁻¹) no solo.

3.3 Acelga

3.3.1 Temperatura do ar e do solo

Durante o período em que se realizou a cultura da acelga a temperatura média do solo e do ar foram respectivamente 17,5 e 16,4 °C. A temperatura máxima do solo foi 22,2 °C e do ar 24,8 °C enquanto as temperaturas mínimas do solo e do ar foram respectivamente 12,2 °C e 9,0 °C (Figura 21).

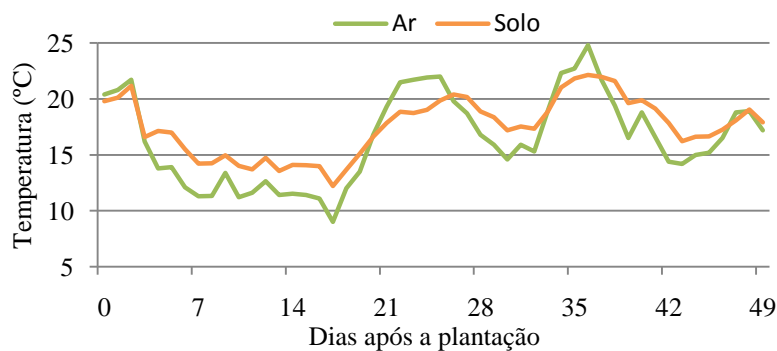


Figura 21. Temperatura do solo e do ar durante o ciclo de vida da acelga.

3.3.2 Peso fresco e peso seco

As características físicas e químicas do composto incorporado no solo antes da plantação da acelga estão representadas no quadro 8. Os valores de produção aumentaram sempre com a aplicação de doses crescentes de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e calcário (0 e 8 t ha⁻¹). A produção de acelga aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e 8 t ha⁻¹ de calcário (25,4 t ha⁻¹) em relação ao tratamento sem fertilizantes (11,7 t ha⁻¹) (117 %). A produção de acelga também aumentou significativamente com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto e calcário (19,3 t ha⁻¹) em relação aos tratamentos de 0 e 20 t ha⁻¹ de composto sem calcário (11,7 t ha⁻¹) (Fig. 22). A produção aumentou 46 % com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação a 0 t ha⁻¹ de composto e aumentou 32 % com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação à aplicação com 20 t ha⁻¹ de composto. A aplicação de calcário resultou num aumento de produção de 56 % (Fig 23). Os aumentos percentuais no peso fresco com doses crescentes de composto foram superiores na 2ª colheita (35 dias após a plantação), na qual o peso fresco aumentou 51 % com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação a 0 t ha⁻¹ e aumentou 40 % com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação à aplicação com 20 t ha⁻¹ de composto. O peso fresco aumentou 54 % com a aplicação de calcário (Fig 24).

Quadro 8. Características do composto incorporado antes da plantação da acelga.

	MS	pH	CE	OM	C/N	N	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	K	Ca	Mg
	(%)		(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
Média	31,4	6,8	0,77	53	22	13,5	67	738	2,6	9,7	10,8	4,1
DP	1,2	0,1	0,04	1,9	2,6	1,2	5	49	0,2	4,7	2,6	1,5

A matéria orgânica (MO) e teores de nutrientes foram calculados com base na matéria seca

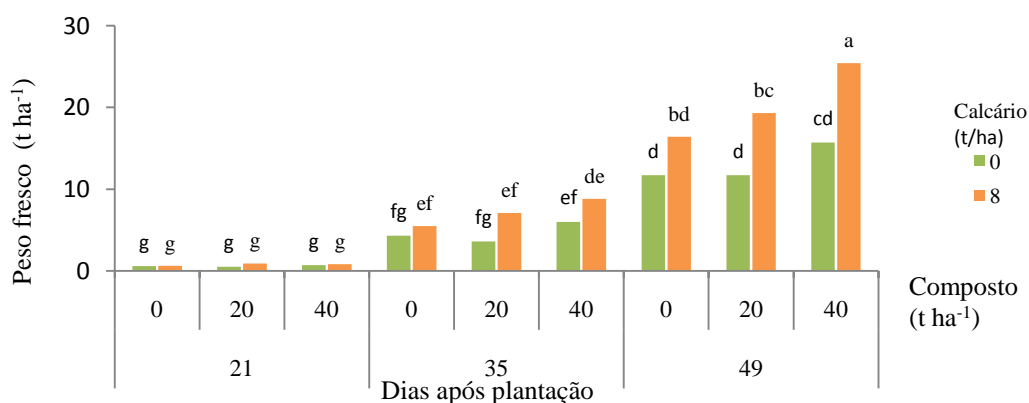


Figura 22. Peso fresco da acelga 21, 35 e 49 dias após a plantação

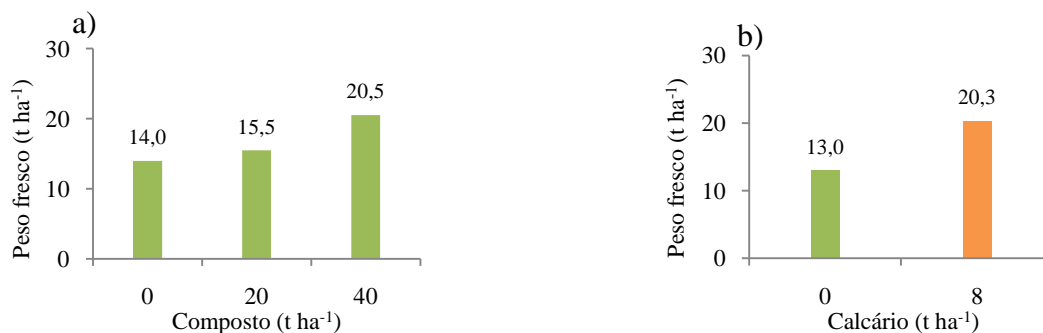


Figura 23. Peso fresco na 3ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário (a) e com aplicação de calcário para a média das doses de composto (b).



Figura 24. Peso fresco na 2ª colheita com aplicação de composto para a média das doses de calcário (a) e com aplicação de calcário para a média das doses de composto (b).

O teor de humidade aumentou significativamente com a aplicação de calcário de 91,8 para 92,5 % e com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (93,3 %) em relação aos restantes tratamentos.

O peso seco aumentou significativamente com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (1,7 t ha⁻¹) em relação aos tratamentos de 0 t ha⁻¹ de composto (1,1 t ha⁻¹) e aos tratamentos de 20 e 40 t ha⁻¹ de composto sem calcário onde o peso seco foi respectivamente 1,0 e 1,2 t ha⁻¹ (Fig. 25). O peso seco também aumentou significativamente ($p < 0,05$) com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto em relação a 0 t ha⁻¹ de composto de 1,1 para 1,5 t ha⁻¹ e com a aplicação de calcário de 1,1 para 1,5 t ha⁻¹.

3.3.3 Teor e acumulação de nutrientes nas folhas

Os teores de nutrientes nas folhas da acelga estão representados no quadro 9. A acumulação de N nas folhas da acelga (Fig. 26) com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (47,2 kg ha⁻¹) foi significativamente superior em relação aos tratamentos sem calcário e a acumulação de N com aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto e calcário (37,9 kg ha⁻¹) foi superior em relação à aplicação com 0 e 20 t ha⁻¹ de composto sem calcário (35,2

e 32,4 kg ha⁻¹ respectivamente). A acumulação de P com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (9,3 kg ha⁻¹) foi superior (p <0,05) em relação aos restantes tratamentos e a acumulação de P com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto e calcário (7,6 kg ha⁻¹) foi superior (p <0,05) em relação à aplicação de 0 e 20 t ha⁻¹ sem calcário (5,3 e 4,5 kg ha⁻¹ respectivamente). A acumulação de K e Ca com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (72,4 kg ha⁻¹ e 24,8 kg ha⁻¹ respectivamente) foi significativamente superior em relação aos tratamentos sem calcário. A acumulação de Mg com a aplicação de 40 e 20 t ha⁻¹ de composto e calcário (11,1 e 9,5 kg ha⁻¹) foi significativamente superior em relação ao tratamento testemunha (6,4 kg ha⁻¹); a acumulação de Fe com a aplicação de 0 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹ de composto e calcário (0,9 e 0,8 kg ha⁻¹ respectivamente) foi significativamente superior em relação ao tratamento testemunha (0,5 kg ha⁻¹).

A aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto beneficiou (p <0,05) a acumulação de N (38,7 kg ha⁻¹) em relação a 0 e 20 t ha⁻¹ de composto (28,4 e 29,9 kg ha⁻¹ respectivamente) para a média das doses de calcário. A aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto também beneficiou (p <0,05) a acumulação de P (8,1 kg ha⁻¹) em relação a aplicação de 0 e 20 t ha⁻¹ de composto (5,8 e 6,0 kg ha⁻¹ respectivamente). A incorporação de calcário contribuiu significativamente para o aumento da acumulação de nutrientes nas folhas, verificando-se que a acumulação de N (39,5 kg ha⁻¹), P (7,8 kg ha⁻¹), K (60,2 kg ha⁻¹) e Ca (21,0 kg ha⁻¹) foi superior com os tratamentos com calcário.

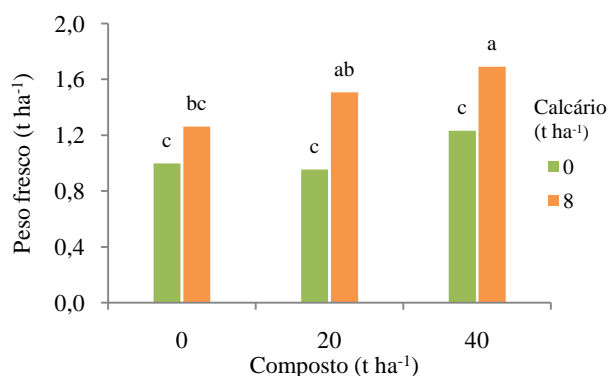


Figura 25. Peso seco da acelga na 3ª colheita em resposta ao composto e ao calcário.

Quadro 9. Teor de nutrientes nas folhas da acelga

Composto	Calcário	N	P	K	Ca	Mg	Fe
(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)
0	0	23,2	5,2	34,7	14,7	6,5	0,5
0	8	26,1	5,0	36,1	15,1	7,1	0,7
20	0	23,1	4,6	34,0	15,6	8,9	0,7
20	8	25,0	5,3	41,1	12,8	6,4	0,5
40	0	24,7	5,6	32,5	13,1	7,5	0,7
40	8	26,4	5,2	40,3	13,8	6,2	0,4

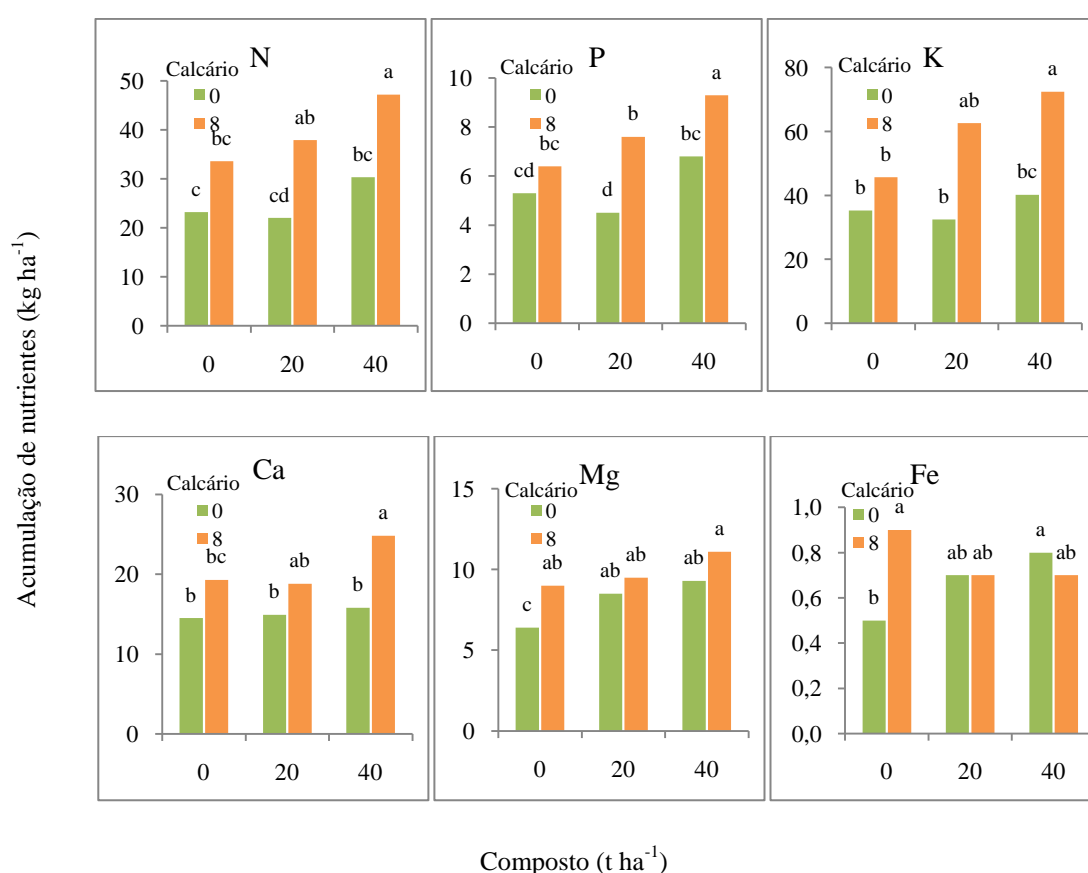


Figura 26. Acumulação de nutrientes em resposta à incorporação de composto (0, 20 e 40 t ha⁻¹) e calcário (0 e 8 t ha⁻¹) no solo.

3.3.4 Recuperação dos nutrientes dos compostos

A recuperação dos nutrientes foi estimada considerando que os nutrientes acumulados nas folhas da acelga provêm da aplicação do composto incorporado antes da alface (subtraindo os nutrientes absorvidos pela alface) e do composto incorporado antes da cultura da acelga. A aplicação de calcário beneficiou a recuperação de N com 20 t ha⁻¹ composto (de 0 para

3,6 %) e com 40 t ha⁻¹ (de 2,8 para 5,6 %), beneficiou a recuperação de P com 20 t ha⁻¹ de composto (de 0 para 4,0 %) e com 40 t ha⁻¹ de composto (de 2,4 para 4,6 %) e beneficiou a recuperação de K com 20 t ha⁻¹ de composto (de 0 para 16,1 %) e com 40 t ha⁻¹ de composto (de 2,2 para 11,6%). A aplicação de maior dose de composto beneficiou a recuperação de N e P, sendo a maior recuperação de N (5,6 %) com 40 t ha⁻¹ de composto e calcário. A maior recuperação foi de K com 20 t ha⁻¹ de composto (16,1 %) e com 40 t ha⁻¹ de composto (11,6 %), ambos com calcário. Os índices de recuperação de Ca e Mg foram baixos e não aumentaram consistentemente com a aplicação de calcário (Quadro 10).

Quadro 10. Recuperação de nutrientes dos compostos incorporados no início da rotação e antes da cultura da acelga, para a mesma dose de calcário, na cultura da acelga.

Composto e calcário	N	P	K	Ca	Mg	Fe
(t ha ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20 0 versus 0 0	-1,0	-2,5	-3,2	0,4	3,9	0,2
20 8 versus 0 8	3,6	4,0	16,1	-0,4	0,9	-0,1
40 0 versus 0 0	2,8	2,4	2,2	0,6	2,7	0,1
40 8 versus 0 8	5,6	4,6	11,6	2,3	2,0	-0,1

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Peso fresco das culturas

A produção de alface aumentou com a aplicação de doses crescentes de composto e calcário o que está de acordo com outros autores (Gent, 2002; Porto et al. 2008; Manojlovic et al., 2009) que referem que a produção de alface aumenta com a incorporação de MO. Os valores de produção de 35,8 t ha⁻¹ de alface no tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e calcário são similares aos referidos por Porto (2008). No entanto, nesta experiência apenas se verificaram diferenças significativas na alface, tal como na cultura de cobertura entre o tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e com 8 t ha⁻¹ de calcário e o tratamento testemunha (sem aplicação de fertilizantes), porque a menor diferença significativa para comparação entre as médias de produção com os diferentes tratamentos apresentou valores muito elevados (8,2 t ha⁻¹ para a alface e 8,7 t ha⁻¹ para o adubo verde). Provavelmente o elevado valor do erro padrão para comparação entre estas médias reflecte a heterogeneidade do solo no MPB em comparação com o MPC. Por exemplo a aplicação de adubo mineral conduz a um solo mais homogêneo, não só em virtude de não haver diferenças na constituição do adubo mas também na facilidade em o espalhar uniformemente por todo o terreno enquanto os estrumes e compostos são mais heterogêneos e espalham-se com menor uniformidade em comparação com os adubos. Por esta razão poderá ser conveniente aumentar o número de repetições nas experiências em agricultura biológica em comparação com as experiências em agricultura convencional de modo diminuir o erro padrão das experiências e consequentemente a menor diferença significativa para comparação entre médias de tratamentos.

A produção de alface e de adubo verde aumentou 39 e 37 % respectivamente, enquanto a produção de acelga aumentou 117% com a aplicação de 40 t ha⁻¹ de composto com calcário em relação ao tratamento sem qualquer fertilizante. Smith et al. (2001) referiram um aumento de 68 % na produção, numa experiência com vasos, em que se duplicou a quantidade de composto de restos de colheita e desperdícios de jardim de 25 para 50 % (de 1340 g de solo e 447 g de composto para 765 g de solo e 765 g de composto). A produção de 25,4 t ha⁻¹ de acelga com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário está dentro dos valores referidos por Pokluda et al. (2002) num estudo realizado com várias variedades de acelga. De notar o aumento substancial de produção na acelga de 56 % com a aplicação de calcário enquanto os aumentos de produção na alface e no adubo verde foram apenas de

15 e 8 %, respectivamente. Este aumento de produção pode ser explicado pela contínua adição de composto e porque o calcário incorporado antes da plantação da alface produziu o seu maior efeito na plantação da acelga cerca de 8 meses depois, o que está de acordo com os resultados encontrados por Farhoodi et al. (2008) que constataram que a maior produção se verificou no segundo ano após a aplicação de 2 t ha^{-1} de calcário.

4.2 Acumulação de nutrientes nas culturas

A acumulação de N nas folhas da alface com a aplicação de 40 t ha^{-1} de composto ($45,7 \text{ kg ha}^{-1}$) foi superior em comparação com 0 t ha^{-1} de composto ($32,2 \text{ t ha}^{-1}$) o que está de acordo com o citado por Manojlovic et al. (2009), apesar de os valores de acumulação de N nas folhas da alface referidos por este autor serem superiores ($63,8 \text{ kg ha}^{-1}$). A maior acumulação de K nas folhas da alface em relação aos outros nutrientes pode ser devida à maior disponibilidade deste elemento no composto, Wen et al. (1997) referiram que o K está igualmente disponível no composto e nos fertilizantes químicos de síntese pois não depende da mineralização da MO para estar disponível (Varennnes, 2003) e além disso, a alface é exigente neste elemento (Maroto, 1995).

Os valores de acumulação de N ($84\text{-}127 \text{ kg ha}^{-1}$) e P ($17\text{-}25 \text{ kg ha}^{-1}$) no adubo verde (ervilhaca e centeio) estão entre os valores encontrados por Pederson et al. (2002) para o centeio e para a ervilhaca, contudo no tratamento com 40 t ha^{-1} de composto e calcário a acumulação de N no adubo verde (127 kg ha^{-1}) é superior aos valores encontrados por este autor para o centeio (101 kg ha^{-1}) e para a ervilhaca (116 kg ha^{-1}), o que está de acordo com os resultados encontrados por Clark et al. (1997). Por sua vez a acumulação de K ($121\text{-}197 \text{ kg ha}^{-1}$) está acima dos valores citados por este autor. Este facto pode dever-se ao elevado teor de K no solo de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ (Quadro 2) de origem granítica, assim como à disponibilidade de K do composto.

A acumulação na acelga de N, P, K, Ca e Mg no tratamento de 40 t ha^{-1} de composto e calcário foi 103, 77, 106, 72 e 74 % respectivamente superior em relação ao tratamento testemunha sem fertilizantes, sendo este aumento na alface apenas de 35, 40, 58, 32 e 7 % respectivamente entre os mesmos tratamentos.

Verificou-se que para o mesmo nível de composto a aplicação de calcário na acelga aumentou sempre a acumulação de nutrientes nas folhas o que não aconteceu na alface. É visível uma relação positiva entre a produção e a acumulação dos nutrientes nas folhas,

nomeadamente de N, nos vários tratamentos na acelga, o que está de acordo com Evanylo et al. (2008) e Montemurro (2010). Pelo contrário esta relação entre a produção e acumulação de nutrientes nas folhas da alface não foi tão evidente (Fig.27). Esta relação entre a produção e a acumulação de nutrientes é natural mas pode ser devida também ao efeito acumulado do composto, à disponibilidade do calcário aplicado 8 meses antes da plantação da acelga e à maior incorporação de biomassa do adubo verde no tratamento fertilizado, 16 dias antes da plantação da acelga, que favoreceram provavelmente uma maior disponibilidade de nutrientes devido à mineralização da MO do solo no período de maior necessidade de nutrientes da acelga, o que está de acordo com Rosecrance et al. (2000) que refere que a incorporação no solo da mistura centeio com ervilhaca melhora o ajustamento entre a libertação de N e o período de necessidade de nutrientes da cultura seguinte.

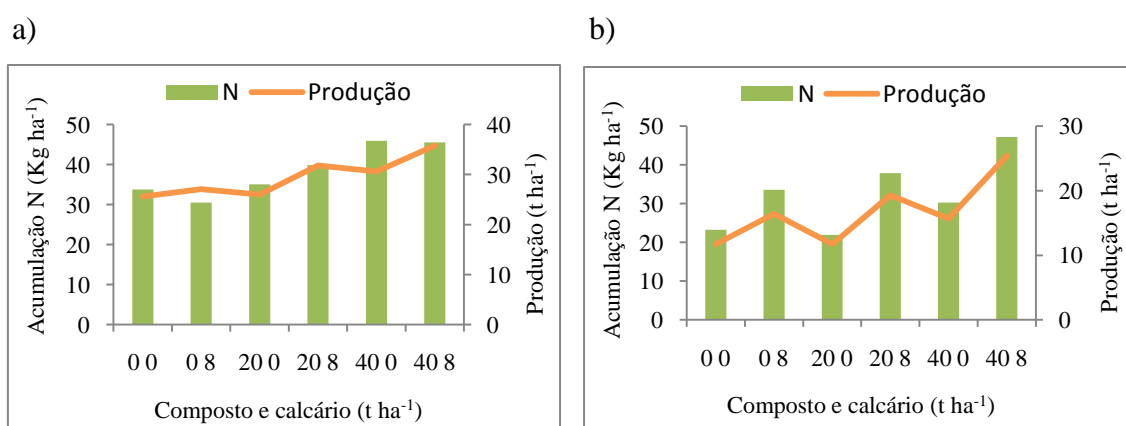


Figura 27. Variação da acumulação de N nas folhas e sua relação com a produção na alface (a) e na acelga (b).

Na alface os teores de P (3,5-3,8 g kg⁻¹), K (29,9-51,9), Ca (7,3-9,4) e Mg (3,0-4,2) (quadro 4) são similares aos referidos por Lairon et al. (1993). Na acelga a relação N/P (4,9) N/Ca (1,8) e N/Mg (3,6) em relação à alface 7,1; 3,2 e 8,0 respectivamente, indica que a acelga é mais exigente nestes nutrientes principalmente em Ca e Mg. Os teores de N (23,2-26,4 g kg⁻¹), P (4,6-5,6 g kg⁻¹) e K (32,5-41,1 g kg⁻¹) na acelga (quadro 9) são inferiores aos referidos por Dzida e Pitura (2008) na acelga sujeita a uma fertilização química de síntese ao contrário de Ca (12,8-15,1 g kg⁻¹) e Mg (6,2-8,9 g kg⁻¹) que são similares. O teor mais baixo destes elementos na acelga deve-se ao facto de a acelga ser

muito exigente (Pockluda et al., 2002) e de o teor de nutrientes e a produção estarem muito dependentes do tipo de fertilização (Santamaria et al. 2010).

4.3 Recuperação dos nutrientes do composto e taxas de mineralização

A mineralização do N orgânico do composto incorporado no solo antes da cultura da alface aumentou com a aplicação de calcário (quadro 6) devido ao aumento temporário de actividade biológica do solo, que favorece a actividade bacteriana responsável pelo aumento da mineralização da MO (Haynes et al. 1998). A maior taxa de mineralização de N com a incorporação de 20 t ha⁻¹ de composto pode ser devida ao incremento da imobilização de N pelos microrganismos devido aumento de carbono com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto (Reddy et al., 2008).

A eficiência de recuperação de N dos compostos pela cultura da acelga (Quadro 10) foi inferior à da cultura da alface (Quadro 5), inclusive no tratamento de 20 t ha⁻¹ de composto sem calcário a recuperação foi nula. A recuperação ainda seria inferior se fosse considerado o N devido à mineralização das raízes da alface e o N da fixação biológica na ervilhaca. Contudo a taxa de mineralização de N orgânico foi superior com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto e calcário ao contrário da alface em que a taxa de mineralização foi superior com 20 t ha⁻¹ de composto e calcário. Este facto pode dever-se ao efeito do calcário na mineralização (Haynes et al. 1998) e à disponibilidade de N na mistura centeio e ervilhaca, diminuindo assim a imobilização de N pelos microrganismos e contribuindo para o aumento da mineralização de C do composto, Clark et al (1997) refere que a disponibilidade de N da mistura centeio e ervilhaca é semelhante à da ervilhaca e que depende da quantidade de massa verde incorporada e do momento de aplicação ao solo. A incorporação do adubo verde a meados de Abril permite uma produção elevada, aumentando assim a quantidade de N disponível. Durante a rotação, a eficiência de recuperação do N dos compostos pela alface e pela acelga nos dois tratamentos de 20 e 40 t ha⁻¹ de composto com calcário foi semelhante (Quadro 11).

Quadro 11. Recuperação de nutrientes dos compostos incorporados no início da rotação e antes da cultura da acelga, para mesma dose de calcário, pelas culturas da alface e da acelga.

Composto e calcário (t ha ⁻¹)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)
20 0 versus 0 0	0,0	-1,8	26,7	2,7	5,7	0,2
20 8 versus 0 8	10,5	7,0	28,1	1,8	4,7	0,1
40 0 versus 0 0	7,4	4,4	7,3	1,9	5,1	0,1
40 8 versus 0 8	11,0	7,4	16,9	3,1	2,1	0,0

4.4 Características dos solos no final da rotação

As características químicas do solo não variaram significativamente à exceção do pH. O pH aumentou de 4,8 para 6,0 (média dos tratamentos com calcário). Este resultado está de acordo com os resultados de Cifu (2004) que refere um aumento de pH de 5 para 7,2 durante o primeiro ano de aplicação de 7,5 t de calcário. O aumento de pH de 4,8 para 5,4 com incorporação de composto nos tratamentos sem calcário em relação ao solo inicial, está de acordo com os resultados de Wong et al. (1998) que refere um aumento de pH de 5,3 para 6,2 com a aplicação de 75 t ha⁻¹ de composto em virtude do efeito tampão.

Numa rotação de hortícolas durante 3 anos, Evanylo et al. (2008) refere que o C aumentou de 14 para 18 e de 14 para 23 g kg⁻¹ com a incorporação de 8,7 t ha⁻¹ e 43,7 t ha⁻¹ de composto (MS) respectivamente. Na mesma experiência o N total aumentou de 1,4 para 1,6 e de 1,4 para 2,0 g kg⁻¹ e os teores de P, K, Ca e Mg também foram superiores em relação ao solo inicial. Estes resultados confirmam que, para quantificar a alteração das características do solo ao longo duma rotação de modo a avaliar a sua qualidade e sustentabilidade é necessário um período de tempo superior a um ano.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo comprovou-se que a incorporação no solo de composto de estrume de equino, juntamente com o adubo verde e com adição de calcário em solos ácidos permite melhorar as produções das culturas hortícolas. O calcário produziu maior efeito na cultura da acelga 8 meses após a sua incorporação ao solo do que na cultura da alface plantada após a incorporação do calcário.

O aumento de produção e a acumulação de nutrientes foi mais evidente na cultura da acelga com a aplicação de fertilizantes, possivelmente devido ao efeito do adubo verde e do calcário que favoreceram uma maior disponibilidade de nutrientes no período de maior necessidade da acelga, sendo a produção superior a 100% entre o tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto e com calcário e o tratamento sem fertilização. A taxa de mineralização de N do composto na acelga também foi superior com a incorporação de 40 t ha⁻¹ de composto, possivelmente devido ao efeito do calcário e à incorporação do adubo verde, enquanto na cultura da alface a taxa de mineralização foi superior no tratamento com 20 t ha⁻¹ de composto e calcário, possivelmente devido à imobilização do N pelos microrganismos no tratamento com 40 t ha⁻¹ de composto devido ao excesso de C.

Embora a produção da alface tenha aumentado numericamente com a incorporação de doses crescentes de composto, verificaram-se poucas diferenças significativas devido ao elevado erro padrão. Este facto pode ser devido à heterogeneidade dos solos no MPB, pelo que poderá ser conveniente aumentar o número de repetições nas experiências no MPB de modo a diminuir o erro padrão e assim aumentar a diferença significativa para comparação entre as médias de tratamentos.

Apesar da importância das práticas de fertilização no aumento da produção e na gestão do N do solo no MPB, a incorporação de correctivos orgânicos ao solo pelos agricultores é principalmente empírica, sendo necessária a realização de experiências de campo locais de modo a melhorar o ajustamento entre a libertação de N dos fertilizantes orgânicos e as necessidades da cultura e assim otimizar a produção.

6. BIBLIOGRAFIA

- Adler, P.R., Sikora, L.J. 2003. Changes in soil phosphorus availability with poultry compost. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 81-95.
- Agehara, S., Warnche, D.D. 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of Journal* 69: 1844-1855.
- Almeida, D. 2006. Manual de culturas hortícolas volume I. Ed. Presença, Portugal.
- Amlinger, F., Gotz, B., Dreher, P., Gestzi, J., Weissteiner, C. 2003. Nitrogen in biowaste compost: dynamics of mobilization and availability- a review. *European Journal of Soil Biology* 39: 117-116.
- Baggs, E.M., Watson, C.A., Rees, R.M. 2000. The fate of nitrogen from incorporated cover crop and green manure residues. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 153-163.
- Bayu, W., Rethman, N.F.G., Hammes, P.S., Alemu, G. 2006. Application of farmyard manure improved the chemical and physical properties of the soil in a semi-arid area in Ethiopia. *Biological Agriculture and Horticulture* 24: 293-300.
- Benbi, D.K., Biswas, C.R., Bawa, S.S., Kumar, K. 1998. Influence of farmyard manure, inorganic fertilizers and weed control practices on some soil physical properties in a long-term experiment. *Soil Use and Management* 14: 52-54.
- Bernal, M.P., Aburquerque, J.A., Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100: 5444-5453.
- Berry, P.M., Sylvester,-Bradley, R., Philips, L., Hatch, D.J., Cuttle, C.P., Rayns, F.W., Gosling, P. 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management* 18: 248-255.
- Brito, L.M. 2001. Lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) growth in soil mixed with municipal solid waste compost and paper mill ludge composted with bark. *Acta Horticulturae* 563: 131-137.
- Brito, L.M. 2003. Manual de compostagem. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico Viana do Castelo, 26.
- Bullock, D.G. 1992. Crop rotation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 11: 309-326.
- Campiglia, E., Caporali, F., Radicetti, E., Mancinelli R. 2010. Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) cover crop residue management for improving weed control and yield in no tillage tomato (*Lycopersicum esculentum*) production. Dipartimento di Produzione Vegetal, Università della Tuscia, Viterbo, Italy.
- Chang, X.C., Juma, N.G. 1994. Impact of crop rotation on microbial biomass, faunal population and plant C and N in a Luvisol (Typic Cryoboralf). *Biology and Fertility of Soils* 22: 1-2.
- Cifu, M., Xiaonan, L., Zhihong, C., Zhengyi, H., Wanzhu, M. 2004. Long term effects of lime application on soil acidity and crop yields on a red soil in Central Zhejiang. *Plant and Soil* 265: 101-109.

- Clark, A.J., Decker, A.M., Meisinger, J.J. 1994. Seeding rate and kill date effects on hairy vetch cereal rye cover crop mixtures for corn production. *Agronomy Journal* 86: 1065-1070.
- Clark, A.J., Decker, A.M., Meisinger, J.J., McIntosh, M.S. 1997. Kill date of vetch, rye and a vetch-rye mixture. Cover crop and corn nitrogen. *Agronomy journal* 89: 427-434.
- Conacher, J., Conacher, A. 1998. Organic farming and the environment, with particular reference to Australia: a review. *Biological Agriculture & Horticulture* 16: 145-171.
- Demjanova, E., Macak, M., Tyr, S., Djalovic, I., Zak, S., Smatana, J. 2008. Weeds population in maize affected by crop rotation and primary soil tillage. *Journal of Plant Diseases and Protection* 21: 529-533.
- Denis, L., Spitz N., Termine, E., Ribaud, P., Lafont, H., Hauton, J. 1983. Effect of organic and mineral nitrogen fertilization on yield and nutritive value of butterhead lettuce. *Plant Food for Human Nutrition* 34: 97-108.
- Drinkwater, L.E., Wagoner, P., Sarrantonio, M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*: 262-265.
- Drinkwater, L.E., Janke, R.R., Rossoni-Longnecker. 2000. Effects of tillage intensity on nitrogen dynamics and productivity in legume-based grain systems. *Plant and Soil* 227: 99-113.
- Drury, C.F., Yang, W.D., Reynolds, C.S., Tan, C.S. 2004. Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. *Soil and Tillage Research* 79: 87-100.
- Dzida, K., Pitura, K. 2008. The influence of varied nitrogen fertilization on yield and chemical composition of swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* L.). *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 7: 15-24.
- Edmeades, D.C., 2003. The long term-effectsof manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66: 165-180.
- Eghball, B., Wienhold, B.J., Woodbury B.L., Eigenberg, R.A. 2005. Plant availability of phosphorus in swine slurry and cattle feedlot manure. *Agronomy Journal* 97: 542-548.
- Evanylo, G., Sherony, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M., Haering, K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer, manure and compost based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 127: 50-58.
- Fan, F., Zhang, F., Song, Y., Sun, J., Bao, X., Guo, T., Li, L. 2006. Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba* L.) interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems. *Plant and Soil* 283: 275-286.
- Farhoodi, A., Coventry, D.R. 2008. Field crop responses to lime in the mid-north region of South Australia. *Field Crops Research* 108: 45-53.
- Ferreira, J., Strech, A., Torres, L., Serrador, F., Marreiros, A., Silva, M., Queda, A.C.C., Vasconcelos, E., Rodrigues J. R., Franco J. C., Marques J. C., Valente F., Fernandes M. M., Ferreira A. T., Cabral F. 2009. As bases de Agricultura Biológica. Tomo 1 Produção vegetal. Ed. EDIBIO, Portugal.

- Fornara, D.A., Bardget, R., Steinbeiss, S., Zak, D.R., Gleixner, G., Tilman, D. 2011. Plant effects on soil N mineralization are mediated by the composition of multiple soil organic fractions. *Ecology Research* 26: 201-208.
- Gaofei, G.E., Zhaojun, L.I., Fenliang, F., Guixin, C., Zhenan, H., Yongchao, L. 2009. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant and Soil* 326: 1-2.
- Gent, M.P.N. 2002. Growth and composition of salad greens as affected by organic compared to nitrate fertilizer and by environment in high tunnels. 2002. *Journal of Plant Nutrition* 25: 981-998.
- Gomez, B.M., Lazcano, C., Dominguez, J. 2008. The evaluation of stability and maturity during the compost of cattle manure. *Chemosphere* 70: 436-444.
- Grandy, A.S., Porter, G.A., Erich, M.S. 2002. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science in Society of America Journal* 66: 1311-1319.
- Griffin, T.S., Hutchinson, M. 2007. Compost maturity effects on nitrogen and carbon mineralization and plant growth. *Compost Science & Utilization* 15: 228-236.
- Guadagnin, S.G., Rath, S., Reyes, F.G.R. 2005. Evaluation of the nitrate content in leaf vegetables produced through different agricultural systems. *Food Additives and Contaminants* 22: 1203-1208.
- Guang, W., Winter, J.P., Voroney, R.P., Bates, T.E. 1997. Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure composts in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 47: 233-241.
- Guang, W., Bates, T.E., Voroney, R.P., Winter, J.P., Schellenberg M.P. 1999. Influence of application of sewage sludges, and sludge and manure composts on plant Ca and Mg concentration and soil extractability in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 51-61.
- Hadas, A. & Portnoy R. (1994). Nitrogen and carbon mineralization rates of composted manures incubated in soil. *Journal of Environmental Quality* 23: 1184-1189.
- Hammermeister, A.M., Astatkie, T., Jeliaskova, E.A., Warman, P.R., Martin, R.C. 2006. Nutrient supply from organic amendments applied to unvegetated soil, lettuce and orchardgrass. *Canadian Journal of Soil Science* 86: 21-33.
- Haynes, R.J., Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 123-137.
- Holness, R.L., Reddy, M.R., Crozier, C.R., Niedziela, C.E. 2008. Clover mixture fertilization of Spring Broccoli and lettuce by nitrogen tracing and mass balance. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1033-1045.
- Huang, G.F., Wu, Q.T., Wong, J.W.C., Nagar, B.B. 2006. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology* 97: 1834-1842.
- Hungria, M., Franchini, J.C., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G., Sousa, R.A. 2009. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology* 42: 288-296.

- Inbar, Y., Hadar, Y., Chen, Y. 1993. Recycling of cattle manure-the composting process and characterization of maturity. *Journal of Environment Quality* 22: 857-863.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy* 101: 1-57.
- Kayser, M., Muller, J. 2009. Nitrogen management in organic farming: comparison of crop rotation residual effects on yields, N leaching and soil conditions. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 87: 21-31.
- Koocheki, A., Nassiri, M., Alimoradi, L., Ghorbani, R. 2009. Effect of cropping systems and crop rotations on weeds. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 401-408.
- Kumar, K., Goh, K.M. 2000. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens*) and field pea (*Pisum sativum*) grown for seed. *Field Crop Research* 68: 49-59.
- Lairon, D., Spitz, N., Termine, E., Ribaud, P., Lafont, H., Hauton, J. 1983. Effect of organic and mineral nitrogen fertilization on yield and nutritive value of butterhead lettuce. *Quality of Plant Foods Nutrition* 34: 97-108.
- Lampkin, N., 2001. *Agricultura ecológica*. Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Espanha.
- Levanon, D., Pluda, D., Chemical, physical and biological criteria for maturity in composts for organic farming. *Compost Science & Utilization* 10: 339-346.
- Li, B.Y., Zhou, D.M., Cang, L., Zhang, H.L., Fan, X.H., Qin, S.W. 2007. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications. *Soil and Tillage* 96: 166-173.
- Liang, B.C., McConkey, B.G., Campbell, C.A., Curtin, D., Lafond, G.P., Brandt, S.A., Moulin, A.P. 2004. Total and labile soil organic nitrogen as influenced by crop rotations and tillage in Canadian prairie soils. *Biological Fertilization Soils* 39: 249-257.
- Mamman, E., Ohu, J.O., Crowther, T. 2007. Effects of soil compaction and organic matter on the early growth of maize (*Zea mays*) in a vertisol. *International Agrophysics* 21: 367-375.
- Makinde, E.A., Eniola H.T., Fagbola, O. 2009. Effect of organomineral and NPK fertilizers on soil pH, organic matter and micronutrient content in two soil types in Nigeria. *Research on Crops* 10: 77-85.
- Maknickiene, Z. 2008. Breeding aspects of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) growing for green manures. *Agronomijas Vestis (Latvian Journal of Agronomy)* 11, 2008.
- Manajlovic, M., Cabilovski, R., Bavec, M. 2009. Organic materials: sources of nitrogen in the organic production of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry* 163-172.
- Maroto, J.V. 1995. *Horticultura herbacea especial*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Matos, E.S., Mendonça, E., Villani, E.M.A., Leite, L.F.C., Galvão, J.C.C. 2006. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciências do solo* 4: 30

- Maynard, D.N., Hochmuth G.J. 1997. Knott's handbook for vegetable growers. Ed. John Wiley, New York.
- Mengel, K. 1996. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant and Soil* 181: 83-93.
- Messiaen, C. M. et al., 1991. Les maladies des plantes maraîchères. Ed. INRA, França.
- Mikic, A., Mihailovic, V., Hauptvogel, P., Cupina, B., Petrovic, M., Krstic, D., Jovicic, D., Milosevic, B., Hauptvogel R. 2009. Wild populations of vetches (*Vicia*) as forage and green manure crops for temperate regions. *Irish Journal of Agriculture and Food Research* 48: 265.
- Mohler, C.L., Teasdale, J.R. 1993. Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale* cereal residue. *Weed Research* 33: 487-499.
- Montemurro, F. 2010. Are organic N fertilizing strategies able to improve lettuce yield, use of nitrogen and N status. *Journal of Plant Nutrition*, 33: 1980-1987.
- Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez Murcia, M.D., Perez-Espinosa, A., Rufete, B., Paredes, C. 2005. Characterization of the organic matter pool in manures. *Bioresource Technology* 96: 153-158.
- Moreira, M.D., Roura, S.I., del Valle, C.E. 2003. Quality of Swiss chard produced by conventional and organic methods. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology* 36: 135-141.
- Mourão, I. M. 2007. Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológica. Ed. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Portugal.
- Nett, L., Aversch, S., Ruppel, S., Ruhlmann, J., Feller, C., George, E., Matthias, F. 2010. Does long-term farmyard manure fertilization affect short-term nitrogen mineralization from farmyard manure? *Bioresearch Fertility of Soils* 46: 159-167.
- Pang, X.P., Letey, J. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of America Journal* 64: 247-253.
- Pavlou, G.C., Elihalotis, C.D., Kavvadias, V.A. 2006. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae* 111: 319-325.
- Pederson, G.A., Brink, G.E., Fairbrother, T.E. 2002. *Agronomy Journal* 94: 895-904.
- Pokluda, R., Kuben, J. 2002. Comparison of selected swiss chard (*Beta vulgaris* ssp. L.) varieties. *Horticulture science Prague* 29: 114-118.
- Porto, M.L., Alves, J.D., de Sousa, A.P., Araujo, R.D., de Arruda, J.A. 2008. Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral Nitrogen supply and organic fertilization. *Horticultura Brasileira*: 26: 227-230.
- Ranells, N.N., Waggoner, M.G., 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agronomy Journal* 88: 777-782.
- Reddy, K.S., Mohanty, M., Rao, D.L.N., Singh, M., Dalal, R.C., Rao, A.S., Pandey, M., Menzies, N. 2008. Nitrogen mineralization in a Vertisol from organic manures, green manures and crop residues in relation to their quality. *Agrochimica* 52: 377-388.

- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 131-167.
- Ribeiro, H. M., Figueiro, D., Alves, F., Ventura, R., Coelho, D., Vasconcelos E., Cunha-Queda, C., Coutinho, J., Cabral, F. 2010. Nitrogen mineralization from an organically managed soil and nitrogen accumulation in lettuce. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173: 260-267.
- Rochester, I., Peoples, M. 2005. Growing vetches (*Vicia villosa* Roth) in irrigated cotton systems: inputs of fixed N, N fertilizer savings and cotton productivity. *Plant and Soil* 271: 251-264.
- Rosecrance, R.C., McCarty, D.R., Shelton, D.R., Teasdale, J.R. 2000. Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereal* L.) cover crop monocultures and bicultures. *Plant and Soil* 227: 283-290.
- Rothrock, C.S., Kirkpatrick, T.L., Frans, R.E., Scott, H.D. 1995. The influence of winter legume cover crops on soilborne plant-pathogens and cotton seedlings diseases. *Plant Disease* 79: 167-171.
- Sandhu, H.S., Wratten, S.D., Cullen, R. 2010. Organic agriculture and ecosystems services. *Environmental Science & Policy* 13: 1-7.
- Santamaria, P., Elia A., Serio, F., Gonnella, M., Parente, A. 2010. Comparison between nitrate and ammonium nutrition in fennel, celery and swiss chard. *Journal of Plant Nutrition*, 22: 1091-1106.
- Santos, R.H.S., da Silva, F., Casali, V.W.D., Conde, A.R. 2001. Residual effect of organic compost on lettuce growth and yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36: 1395-1398.
- Sarapatka, B., Holub, M., Lhotska, M. 1993. The effect of farmyard manure anaerobic treatment on weed seed viability. *Biological Agriculture & Horticulture* 10: 1-8.
- Sarunaite, L., Deveikyte, I., Kadziulienė, Z. 2010. Intercropping spring wheat with grain legume for increased production in an organic crop rotation. *Zemdirbsyte-Agriculture* 97: 51-58.
- Schmid, O. e Henggeler, S., 1989. Ravageurs et maladies au jardin. Les solutions biologiques. Ed. Terre Vivante, França.
- Sierra, J. 1997. Temperature and soil moisture dependence of N mineralization in intact soils cores. *Soil Biology Biochemistry* 29: 157-163.
- Sikora, L.J. 1998. Benefits and drawbacks to composting organic by-products. *Beneficial Co-utilization of Agriculture, Municipal and Industrial by-Products* 69-77.
- Sikora, L.J., Enkiri, N.K. 2001. Uptake of N-15 fertilizer in compost-amended soils. *Plant and Soil* 235: 65-73.
- Sikora, L.J. Enkiri, N.K. 2004. Availability of compost P to fescue under non limiting N conditions. *Compost Science & Utilization* 12: 280-284.
- Silva, F.A.M., Villas Boas, R.L., Silva R:B. 2010. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos em dois ciclos sucessivos. *Maringá* 32: 131-137.
- Smith, D.C., Beharee, V., Hughes, J.C. 2001. The effects of composts produced by simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var.

- flavescens) and common bean (*Phaseolis vulgaris* L. var. nanus) Scientia Horticulturae 91: 393-406.
- Studdert, G.A., Echeverria, H.E., Casanovas, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudoll. Soil Science Society of America Journal 61: 1466-1472.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia Martinez, A.M., Parrado, J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99: 1758-1767.
- Thomsen, I.K., Schjonning, P., Olesen, J.E., Christensen, B.T. 2003. C and N turnover in structurally soil of different texture. Soil Biology and Biochemistry 35: 765-774.
- Thorup-Kristensen, K., Nielsen, N.E. 1998. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on the nitrogen supply for succeeding crops. Plant and Soil 203: 79-89.
- Thorup-Kristensen, K. 2001. Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot. Acta Horticulturae 563: 201-206.
- Thorup-Kristensen, K. 2002. Utilising differences in rooting depth to design vegetable crop rotations with nitrogen use efficiency. Acta Horticulturae 571: 249-254.
- Thorup-Kristensen, K. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. Soil Use and Management 22: 29-38.
- Thorup-Kristensen, K., Dresboll, D.B. 2010. Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. Soil Use and Management 26: 27-35.
- Tonitto, C., David, M.B., Drinkwater, L.E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: a meta-analysis of crop yield and N dynamics. Agricultural Ecosystems & Environment 112: 58-72.
- Tsadilas, C.D., Samaras, V. 1999. Influence of sewage sludge application on soil quality: organic matter, pH, phosphorus, potassium and inorganic nitrogen. Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, pp. 1709-1718.
- Varennes, A. 2003. Produtividade dos solos e ambiente. Escolar Editora, Portugal.
- Wagger, M.G., Cabrera, M.L., Rannells, N.N. 1998. Nitrogen and carbon cycling relation to cover crop residue quality. Journal of Soil and Water Conservation 53: 214-218.
- Wen, G., Winter, J.P., Voroney, R.P., Bates, T.E. 1997. Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure composts in field experiments. Nutrient Cycling in Agroecosystems 47: 233-241.
- Weston, L.A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. Agronomy Journal 88: 860-866.
- Weston, L.A., History and current trends in the use of allelopathy for weed management. Horttechnology 15: 529-534.
- Wong, J.W.C., Ma, K.K., Fang, K.M.; Cheung, C. 1999. Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. Bioresource Technology, 67, 43-46.

- Yilmaz, E., Alagoz, Z. 2010. Effects of short-term amendements of farmyard manure on some soil properties in the Mediterranean region of Turkey. *Journal of Food Agriculture & Environment* 8: 859-862.
- Yusuf, A.A., Iwuafor, E.N.O., Abaidoo, R.C., Olufajo, O.O., Sanginga. 2009. Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on yield and nitrogen efficiency in maize in the northern Guinea savanna of Nigeria. *African Journal of Agriculture Research* 4: 913-921.
- Zaller, J.G., Kopke. U. 2004. Effects of traditional biodynamic farmyard manure amendment on yield, soil chemical, biochemical and biological properties in a long term field experiment. *Biology and Fertility of Soils* 40: 222-229.
- Zoltarelli, L., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Bodey, J.S. 2007. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two oxisols. *Soil & Tillage Research* 95: 196-206.